

Revista del CSN / Número 14
I Trimestre 2000

Seguridad Nuclear



Gestión de la seguridad:
nuevos retos

La vigilancia radiológica
ambiental en la UE y España

La Escala de Sucesos
en Instalaciones Radiactivas

La autorización de clausura
como barrera de seguridad

Radiocarcinogénesis: nuevas
aproximaciones experimentales

Seguridad Nuclear

Revista del CSN

Año IV / Número 14

I Trimestre 2000

Director

Rafael Caro

Comité de redacción

Agustín Alonso, José A.

Azuara, Juan M. Kindelán,

Aníbal Martín, Carmen

Martínez Ten, Luis del Val

Secretaría de redacción

Fátima Rojas

Noticias

Directora

Matilde Ropero

Comité

A. Esteban Naudín, G. Ló-

pez Ortiz, Javier Reig, M.

Rodríguez Marlí, M. F. Sán-

chez Ojanguren, M. A. Vi-

llar Castejón

Consejo de

Seguridad Nuclear

Justo Dorado, 11

28040 Madrid

Tf. 91 346 02 00

Fax 91 346 06 66

Coordinación editorial

RGB Comunicación

Princesa 3, dpdo.

28008 Madrid

Tf. y Fax 91 542 79 56

Impresión

Gráficas Naciones

Río Sil, 3

28110 Algete (Madrid)

Tf. 91 629 21 45

Fax 91 629 22 79

ISSN: 1136-7806

D. Legal: M. 31.281-1996

Portada: Jardín secreto (José

María Cerezo)

Los autores asumen la total responsabilidad de los trabajos que firman. El CSN al publicarlos no pretende expresar su acuerdo con ellos.

Editorial

Gestión de la seguridad: nuevos retos

● José Ignacio Villadóniga

La vigilancia radiológica ambiental en la Unión Europea y España

● Lucila María Ramos y Rosario Salas

La Escala de Sucesos en Instalaciones Radiactivas

● Mónica Alonso, María Luisa Ramírez y Fernando Zamora

La autorización de clausura como barrera de seguridad nuclear

● Manuel Perelló

Radiocarcinogénesis: dos nuevas aproximaciones experimentales

● María Asunción Díez, Almudena Real, Cristina Bauluz y Rosa de Vidania

Noticias

37 Consejo de Seguridad Nuclear / 38 Principales acuerdos del CSN / 41 Información general / 42 Centrales nucleares / 46 Tecnología / 46 Investigación y desarrollo / 46 Residuos / 47 Protección radiológica y medio ambiente / 48 Cursos y seminarios / 48 Publicaciones

Resúmenes

Editorial

El año 1999 finalizó con la aprobación de un nuevo reglamento para las instalaciones nucleares y radiactivas, lo cual ha supuesto para el CSN el logro de un objetivo importante: actualizar y renovar una norma que estaba vigente desde 1972. Culmina así un proceso de más de dos años de trabajo en el que han colaborado numerosas instituciones y expertos. El resultado final, que acumula la experiencia de 27 años de funcionamiento de dichas instalaciones, está de acuerdo con la práctica internacional actual, con la participación de España en la Unión Europea, con la concepción autonómica del Estado y con el papel del Consejo de Seguridad Nuclear como organismo regulador.

Entre los aspectos más importantes del nuevo reglamento cabe destacar que se creará un comité de información para todas las fases de funcionamiento de las centrales nucleares, desde la construcción a la clausura, formado por representantes del Ministerio de Industria, el CSN, el titular de la instalación y las delegaciones del Gobierno, las comunidades autónomas y los municipios en cuyo territorio se encuentre la instalación; se regula de forma exhaustiva el desmantelamiento y clausura de instalaciones; se establece un registro de transportistas de material nuclear y radiactivo; y se adoptan los criterios de exención de radiactividad de la Unión Europea.

También a finales del pasado año, el presidente del CSN compareció ante la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados para dar cuenta de las actividades del organismo durante 1998. En su exposición, hizo además un repaso de las nuevas funciones que el CSN ha asumido, tras la aprobación de la Ley de Tasas, sobre la vigilancia ambiental de todo el territorio nacional y la actuación en instalaciones no reguladas por la legislación nuclear. A partir de este año y por decisión de la propia Comisión, el CSN presentará al Congreso y al Senado un informe anual de sus actividades, en lugar de dos semestrales, lo que facilitará la labor de supervisión y control realizada por el Parlamento.

Seguridad Nuclear inicia el año 2000 planteando en sus artículos los nuevos retos en gestión de la seguridad ante la liberalización del sector eléctrico, la vigilancia radiológica ambiental en España y la Unión Europea, la escala de sucesos en instalaciones radiactivas, las autorizaciones de clausura de instalaciones y el resultado de algunas investigaciones experimentales sobre radiocarcinogénesis. Deseamos que el contenido sea de interés de los lectores y que, a lo largo del año que comienza, esta revista represente un canal de comunicación y un punto de encuentro de ideas, información y proyectos.

Gestión de la seguridad: nuevos retos

La liberalización del sector eléctrico y los crecientes niveles de exigencia de los ciudadanos imponen el uso de las técnicas de gestión más avanzadas. El autor presenta

en este artículo la evolución de la gestión de la seguridad y sus implicaciones tanto para los organismos reguladores como para los titulares de las instalaciones.

1. Introducción

El término *gestión de la seguridad* (*safety management*) ha recibido un fuerte impulso en los últimos años. Las razones más significativas para su mayor utilización son las siguientes:

— El término *cultura de seguridad* (*safety culture*) incluye solamente los aspectos relacionados con los valores compartidos por la organización, pero no los procesos implicados en la gestión de la seguridad, que sí están incluidos en el término de gestión de la seguridad.

— Los problemas que llevaron a la parada de la central de Millstone, en Estados Unidos, y a mantener actualmente paradas siete centrales de Ontario Hydro, en Canadá, han revelado el importante papel de la organización y dirección de los titulares de dichas instalaciones.

— La liberalización de la producción de energía eléctrica que ya ha tenido lugar en varios países, entre ellos España, y que se prevé afecte a muchos más, obliga a buscar nuevas técnicas de organización y dirección que puedan, obteniendo

una mejora continua de la seguridad, optimizar el uso de recursos. Gana prominencia de esta manera el empleo de técnicas avanzadas de gestión (*management*) en la consecución de la eficiencia requerida.

— Los ciudadanos son cada vez más exigentes y no aceptan la ocurrencia de sucesos que, aun cuando tienen muy poco o ningún impacto en la seguridad, revelan la existencia de aspectos mejorables. Por lo tanto, gana importancia la capacidad de descubrir degradaciones en los procesos internos de una instalación antes de que den lugar a un suceso.

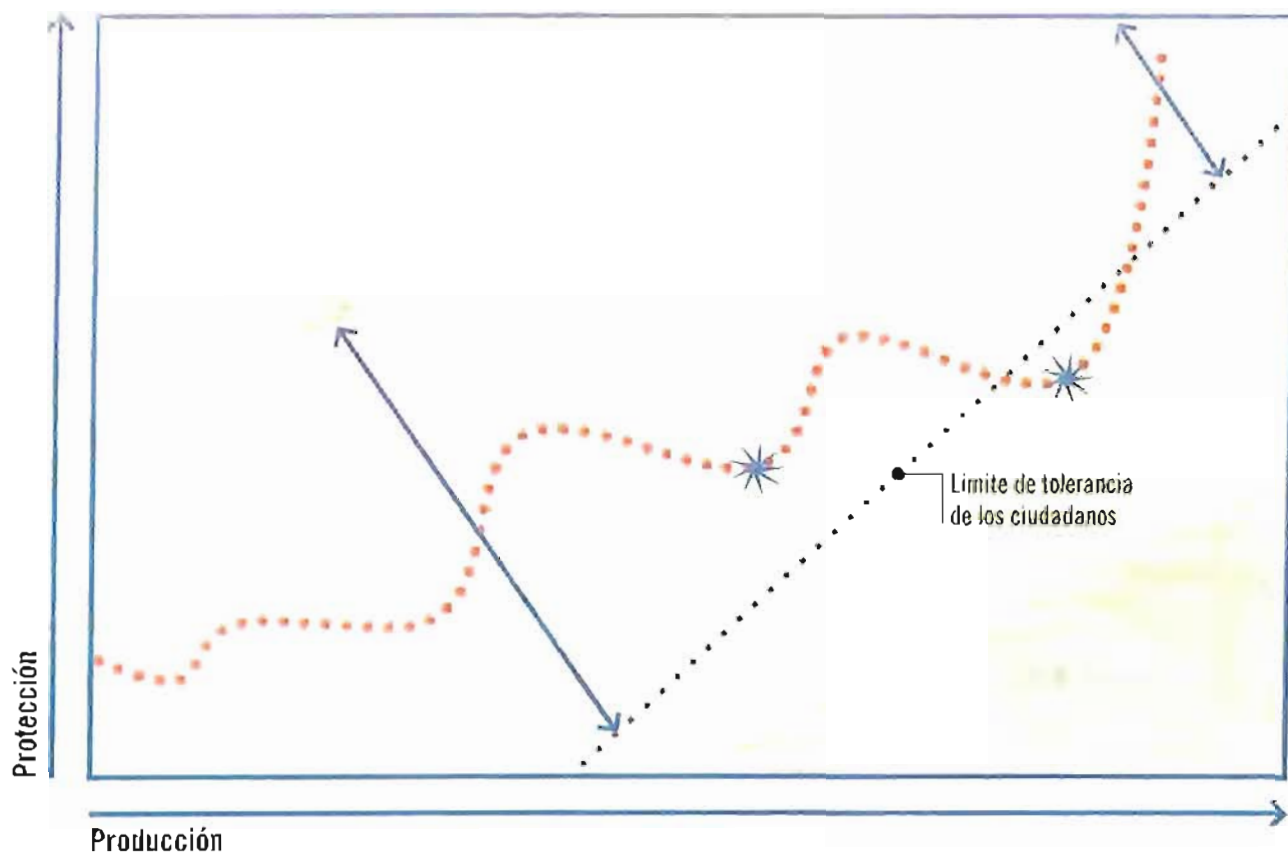
2. Efectos de los cambios en el entorno

El efecto de la liberalización y de los mayores niveles de exigencia de los ciudadanos se muestra gráficamente en la figura 1¹. En los ejes vertical y horizontal se representan la protección (seguridad) y producción, respectivamente. La bisectriz representa aquellos puntos donde existen niveles óptimos de protección y producción; la separación de esa línea indica que una de las dos variables gana más prominencia

que la otra. La línea de puntos representa un periodo de la vida de una hipotética instalación, que pasa por distintas etapas en las que se producen aumentos de producción (en centrales nucleares puede ser por aumentos en los factores de carga o por aumentos de potencia, por ejemplo) y aumentos de protección (por ejemplo, introduciendo mejoras en los sistemas de seguridad, en los procedimientos, en la formación del personal, etcétera). Si se produce una disminución significativa de la protección puede ocurrir un incidente, lo cual normalmente lleva a reconocer la necesidad de mejorar la protección. Por encima de la bisectriz existe una línea que representa la frontera de una zona donde los costes de protección son tan altos que la instalación no es económicamente viable. Por debajo se incluyen dos líneas, una que representa la frontera de una zona en la que se produciría un accidente que haría inviable la recuperación de la instalación, y otra que representa la tendencia de los ciudadanos a ser menos tolerantes con los problemas. Debido a la mejora continua en el conocimiento de las instalaciones, a la resolución de temas de seguridad que aparecieron en el pa-

* Ingeniero Industrial, Executive MBA, trabaja en el CSN desde su creación. En la actualidad es subdirector general de Tecnología Nuclear.

¹ Basada en una figura del libro de James Reason *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate, 1997.



► Figura 1. Evolución de la relación entre producción y protección (seguridad).

sado, a la mejora en los procesos de los titulares, a la existencia de controles más rigurosos, etcétera, la línea que separa la zona en la que son previsibles accidentes graves debe irse separando cada vez más de la bisectriz (siempre que otros fenómenos, por ejemplo de envejecimiento de materiales, de pérdidas de personal cualificado, etcétera, no produzcan un cambio en esa tendencia). El progresivo acercamiento a la bisectriz de las líneas relacionadas con los costes y con la actitud de los ciudadanos trata de representar la tendencia actual y muestra que el margen dentro del cual se puede producir la operación de las centrales nucleares se ha reducido de forma significativa.

Si se acepta la visión que, de manera simplificada, muestra la figura antes descrita, la conclusión es que actualmente la operación de una central nuclear requiere el empleo de técnicas de gestión mucho mejores que las empleadas hace cinco o diez años. En el pasado era

suficiente una gestión muy competente técnicamente; hoy hace falta una gestión que además haga uso de las técnicas que permiten un aumento sustancial de la eficiencia. El uso de ambas capacidades de manera conjunta debe permitir además identificar y corregir los problemas cuando todavía son incipientes y, por tanto, su coste de recuperación es muy bajo. Este segundo aspecto se presenta de forma gráfica en la figura 2². En esta figura se ve que según los problemas van evolucionando, el impacto de la degradación y el coste de recuperación aumentan. Si un problema de gestión se descubre en un tiempo muy corto es fácil de corregir y poco costoso; si da lugar a problemas en algunos de los prin-

cipales procesos de la central, su corrección es más costosa. El nivel de degradación y el coste de recuperación han aumentado cuando el problema se identifica en los resultados de los procesos afectados o cuando finalmente da lugar a un suceso (incidente o accidente). Si el suceso es significativo, la identificación y corrección del problema pueden requerir la parada de la instalación por un tiempo largo. De esa manera, al no generar ingresos y seguir teniendo gastos, existen menos recursos disponibles para afrontar la corrección del problema y la recuperación de la instalación. En algunos casos los costes de parada y recuperación pueden ser tan altos que hagan inviable el retorno a operación de la instalación. Así pues, una aproximación prudente, tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la rentabilidad de la instalación, es identificar los problemas cuando son problemas de gestión incipientes. Una aproximación todavía mejor es disponer

² Basada en una figura de Joseph Callan, anterior director ejecutivo para las Operaciones de la US-NRC. *Workshop on Regulatory Review of Licensee Safety Performance*, Madrid 10-14 May, 1999. IAEA-CSN-Ciemat.

de herramientas que permitan optimizar los procesos de organización y dirección por medio del uso de los avances científicos en las ciencias del *management* y del comportamiento humano, y que faciliten la realización de simulaciones previas a ciertas decisiones, de manera que se pueda evitar la toma de decisiones que generarían problemas de gestión que afectan a la seguridad de la instalación.

3. Importancia de la eficiencia

La necesidad de mayor eficiencia impondrá cambios en los sistemas reguladores (conjunto de actividades reguladas que definen las actuaciones de los titulares y del organismo regulador en relación con la seguridad de las instalaciones) que hoy son difíciles de predecir en toda su extensión. Los sistemas reguladores deterministas, que jugaron un papel fundamental en el pasado, han demostrado ser eficaces, pero resultan poco eficientes. Existe una clara evolución hacia la mejora de los mismos por medio de la utilización de técnicas de análisis probabilista de seguridad (APS), que permiten asignar los recursos en función de la importancia para la seguridad de los distintos aspectos. Esta evolución hacia lo que en terminología anglosajona se denomina *risk informed regulation* es probable que incluya una reconsideración de los denominados accidentes base de diseño y de los requisitos reguladores relacionados con los mismos. Por ejemplo, ya se está discutiendo en qué medida deben retenerse como accidentes base de diseño los actualmente considerados, frente a sucesos mucho más probables. El uso creciente del APS hace necesario que dichos análisis sean cada vez más rigurosos, y que no incluyan hipótesis excesivamente conservadoras.

La necesidad de una mayor eficiencia implica identificar y reducir conservadurismos innecesarios, es decir conservadurismos

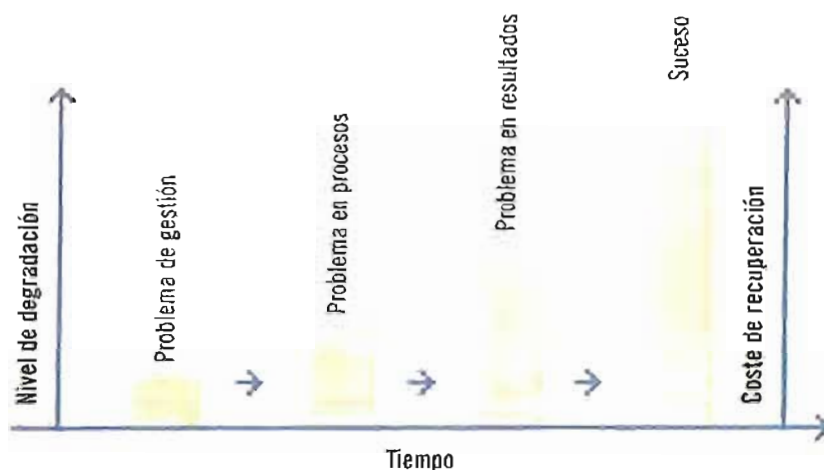


Figura 2. Evolución con el tiempo de los problemas y de su impacto.

que, al haber obtenido el conocimiento preciso para hacer una mejor estimación de las incertidumbres asociadas, pueden eliminarse o reducirse de forma significativa. Esto implica que los códigos de estimación óptima jugarán un papel cada vez más relevante y serán aceptados de forma progresiva en actividades de licenciamiento. Las nuevas técnicas de tratamiento de incertidumbres jugarán también un importante papel.

La evolución hacia una visión informada por el riesgo ha contribuido también a hacer más patente la importancia de una visión sistémica, integradora, de los temas de seguridad. Al fin y al cabo, la seguridad es una variable emergente de un sistema y su entendimiento profundo sólo puede surgir de la síntesis de la interacción entre las partes del sistema. Por lo tanto, se acepta cada vez más la necesidad de tratar de forma integrada todos los aspectos que tienen impacto en la seguridad. Este hecho, unido al aumento exponencial de la rapidez de cálculo de los ordenadores, hace que se puedan diseñar sistemas informáticos que incluyan de forma explícita la interacción entre distintos aspectos, o que utilicen modelos más realistas. Un ejemplo importante de esta evolución es lo que se denomina *análisis integrado de segu-*

ridad, donde a la simulación termohidráulica se incorpora la generación de árboles de sucesos y la simulación de procedimientos. El siguiente paso puede ser la incorporación de modelos de fiabilidad humana, que permitan un tratamiento integrado de todas las protecciones, tanto de *hardware* como *software*.

La presión por alcanzar mayores cotas de eficiencia ha hecho y hará que algunos titulares de las instalaciones asuman la realización de análisis de seguridad que antes encargaban a suministradores con amplia experiencia. Esto tiene un importante efecto positivo, pues hace que el titular adquiera un conocimiento más profundo del análisis de seguridad de su instalación, pero supone un importante reto para el titular y también para el organismo regulador que ha de evaluar el nuevo análisis de seguridad. Requiere un salto cualitativo en cuanto a las capacidades de las que ha de dotarse el organismo regulador para poder realizar sus evaluaciones, debiendo tener los conocimientos y herramientas que le permitan disponer de criterio propio y que dicho criterio no incluya múltiples conservadurismos debidos a su falta de conocimientos o capacidades.

La búsqueda de eficiencia implicará también tratar de alcanzar

mayores quemados en el combustible, la introducción de nuevos diseños de combustible, el uso de nuevas estrategias de diseño de recargas, cambios en los sistemas de inspección, cambios en la categorización de estructuras, componentes y sistemas, nuevas formas de controlar el cumplimiento de las hipótesis del análisis de seguridad, etcétera. El organismo regulador ha de ser sensible a estas tendencias y dotarse de los medios adecuados para poder evaluar adecuadamente cualquier propuesta que los titulares hagan de forma fundada para mejorar su eficiencia.

En todos los temas anteriores, la investigación y desarrollo (I+D) juega un papel fundamental, pues es la que ha de generar los nuevos conocimientos y capacidades necesarios para afrontar con éxito los retos antes descritos. El plan de investigación del CSN y el plan coordinado de investigación Unesa-CSN incluyen ya proyectos en las áreas antes citadas.

Además, la complejidad y carácter de dichos retos hace esencial una actitud de diálogo y cooperación entre los titulares y el organismo regulador, que, manteniendo cada uno sus funciones y responsabilidades, ha de estar basada en una relación de confianza y respeto mutuo.

4. Detección temprana de degradaciones

La posibilidad de detectar y corregir degradaciones en la seguridad de las instalaciones lo antes posible impone también cambios en las aproximaciones hasta ahora utilizadas. Como se ha dicho al inicio de este artículo, en el pasado era suficiente disponer de directivos muy cualificados técnicamente y por tanto eran fundamentales los procesos orientados a garantizar que las decisiones técnicas eran correctas. En el nuevo marco liberalizado, la obtención de mayor eficiencia impone el empleo de nuevas técnicas de gestión: gestión del conocimien-

to, aprendizaje organizacional, alianzas (*partnering*), transferencia a contratistas (*outsourcing*), etcétera. Esto hace que sean precisas nuevas aproximaciones para garantizar que dichas decisiones no afecten de forma negativa a la seguridad de las instalaciones. Surge así la necesidad de entender mejor cómo los aspectos de organización y dirección de las instalaciones afectan a la seguridad de las mismas y se ponen en marcha dos aproximaciones que denominaremos *aproximación de buenas prácticas* y *aproximación científica*.

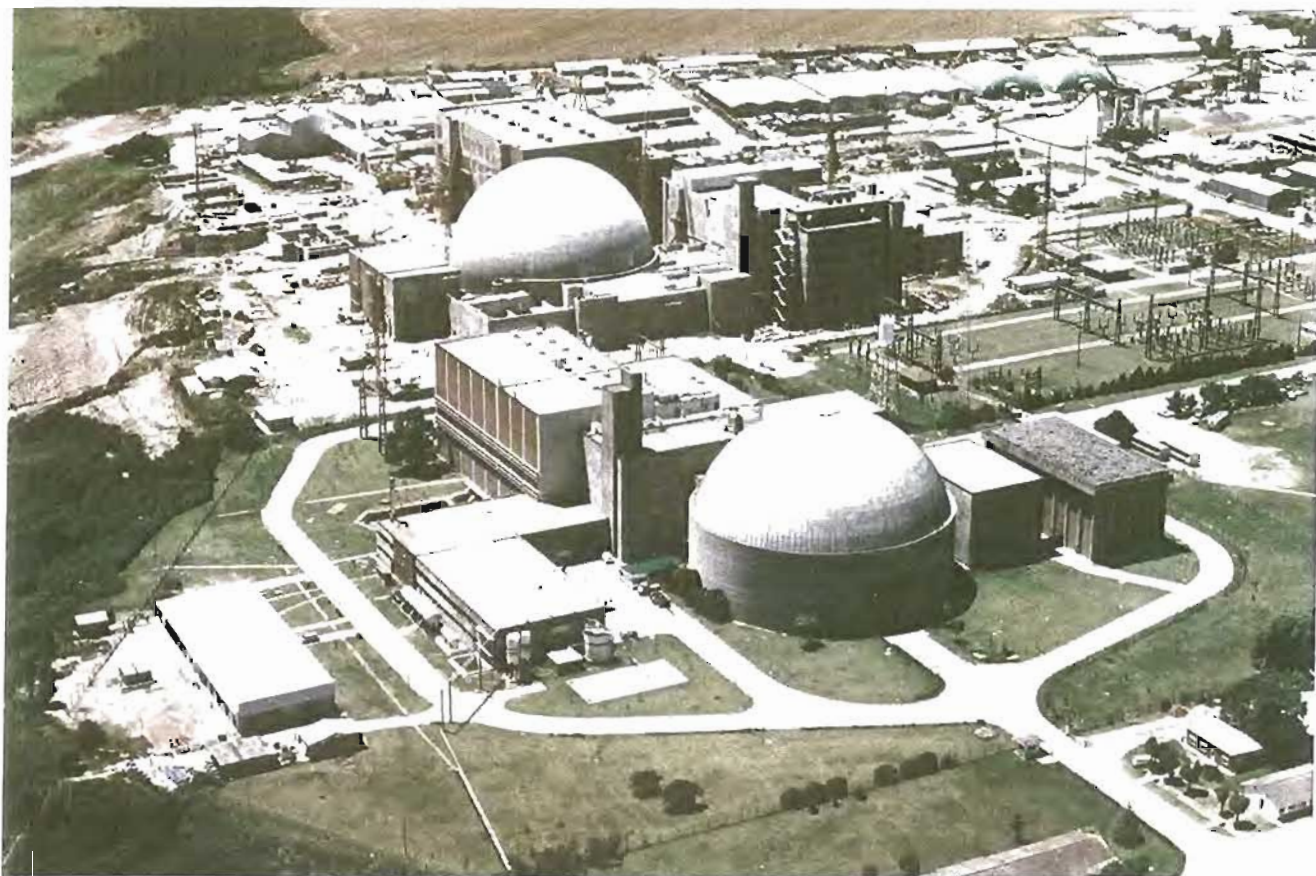
5. Las aproximaciones de "buenas prácticas" y "científica"

La aproximación de buenas prácticas es esencialmente empírica, pues se basa en la identificación de prácticas de trabajo que se supone han colaborado al éxito de las organizaciones más avanzadas. A continuación se procede a la implantación de dichas prácticas en el resto de organizaciones con el ánimo de mejorar de esa manera su seguridad. Ésta es una aproximación muy valiosa, en línea con lo que se denomina *benchmarking*, y que por tanto es importante emplear. Sin embargo, es necesario reconocer sus limitaciones; como ya se ha indicado anteriormente, la seguridad de una instalación depende no solo de los distintos aspectos de la misma (el ser humano, la tecnología, la organización), sino, y esencialmente, de la interacción entre los mismos. Por tanto, la aplicación de buenas prácticas de forma aislada no es una garantía de una correcta integración de todos los aspectos que afectan a la seguridad.

La aproximación científica trata de emplear los conocimientos más avanzados de las ciencias de la gestión, incluyendo las ciencias del comportamiento humano, en la identificación de una teoría o modelo de gestión (*a core theory of*



► Figura 3. Documentos relacionados con la gestión de la seguridad.



► Figura 4. Central nuclear de Atucha (Argentina).

success) que sea integrado y responda a las necesidades específicas de las instalaciones nucleares, que son instalaciones que requieren una fiabilidad muy elevada. Con el empleo de esta aproximación se trata de establecer, de forma integrada, relaciones entre variables organizativas y la seguridad de la instalación. Disponer de una teoría o modelo de gestión facilitaría la realización de ciertas actividades que no son posibles empleando la aproximación de buenas prácticas: diseñar procesos organizacionales que responden a una teoría integrada en la que la seguridad está explícita; simular, previamente a su introducción, el potencial efecto sobre los procesos y resultados de la organización de cambios organizacionales previstos; identificar las causas raíces organizacionales de sucesos que han tenido lugar en la instalación, permitiendo de esta manera eliminar las verdaderas causas raíces de los problemas.

Actualmente, la aproximación de buenas prácticas está mucho más desarrollada que la aproximación científica. El concepto de cultura de seguridad puede considerarse dentro de la aproximación de buenas prácticas y sobre él existen múltiples documentos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), del Comité de Actividades Reguladoras Nucleares (CNRA) de la Agencia para la Energía Nuclear (AEN), del Instituto Americano para las Operaciones Nucleares (INPO), etcétera.

La aproximación científica recibió atención al inicio de la década de los 90, pero no dio los frutos esperados. Actualmente está volviendo a recibir una importante atención en diversos países y por parte de diversas organizaciones internacionales. Por ejemplo, el Comité de Seguridad de las Instalaciones Nucleares (CSNI) de la AEN y el Cuarto Programa Marco de Investigación, Desarrollo y Formación de la Unión Europea en Seguridad

de la Fisión Nuclear han dedicado recursos a su reconsideración.

6. Actividades en España

En España existen múltiples actividades en el tema de cultura de seguridad, y en 1998 se inició, dentro de la aproximación científica, un programa de investigación conjunto del sector (Unesa) y el CSN, que cuenta con la participación del Ciemat y de varios departamentos universitarios. El objeto del programa es la obtención de herramientas que permitan una autoevaluación por los titulares y, sólo en casos excepcionales, una evaluación independiente por el CSN del impacto de los aspectos organizacionales en la seguridad de las instalaciones. Dada la magnitud y complejidad del tema, el programa incluye la cooperación con diversas organizaciones en los continentes americano y europeo. Este programa ha sido considerado a nivel internacional como un excelente ejemplo de cooperación

entre los tres tipos de organizaciones implicadas: los titulares de las instalaciones, el organismo regulador y las organizaciones encargadas de la investigación.

Mientras no se alcancen los frutos de los proyectos de investigación en curso, tanto los titulares de las instalaciones como el CSN habrán de sacar el máximo partido a la aplicación de buenas prácticas para evitar degradaciones en los niveles de seguridad de las instalaciones derivadas de los cambios en aspectos organizativos.

7. Conclusiones

En resumen, los cambios en el entorno que afectan a las instalaciones nucleares crean nuevos retos tanto para los titulares de dichas instalaciones como para el organismo regulador. La liberalización del sector eléctrico y los crecientes niveles de exigencia de los ciudadanos imponen a los titulares el uso de las técnicas más avanzadas de gestión y, por tanto, un conocimiento por todas las partes implicadas (titulares y organismo regulador) del impacto

que dichas técnicas puede tener en la seguridad de las instalaciones. Existen actividades en curso en España en las aproximaciones de buenas prácticas y científica. Dado el impacto sustancial que las deficiencias de carácter organizativo pueden tener sobre la seguridad de las instalaciones, es importante que tanto los titulares como el CSN obtengan los máximos beneficios de ambas aproximaciones tan pronto como la información correspondiente a las mismas vaya estando disponible. 

La vigilancia radiológica ambiental en la Unión Europea y España

En este artículo se describe la vigilancia radiológica ambiental desarrollada en la Unión Europea para dar cumplimiento a los artículos 35 y 36 del tratado

Euratom. Se detallan, además, los programas específicos llevados a cabo actualmente en España, así como las ampliaciones previstas.

1. Introducción

El tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom) se suscribió en Roma el 25 de marzo de 1957 [1], asignando a la Comunidad la misión de establecer las condiciones necesarias para un rápido desarrollo de la energía nuclear como medio para contribuir a la mejora del nivel de vida de los países miembros. Aunque el tratado se firmó en unos momentos de grandes expectativas respecto a los usos pacíficos de la energía nuclear, ya eran bien patentes los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, lo que quedó reflejado en el mismo. Para garantizar una adecuada protección de los trabajadores y del público, el artículo 2b de Euratom requiere que la Comunidad elabore normas básicas estándar de protección radiológica, y en el capítulo III, bajo el título *Protección sanitaria*, se establecen los requisitos para el desarrollo de dichas normas básicas y para la vigilancia radiológica am-

biental. La firma por España del tratado de adhesión a la entonces Comunidad Económica Europea y a la Comunidad Europea de la Energía Atómica supuso la aceptación del tratado de Euratom y la obligación de incorporar a la legislación española las directivas sobre protección radiológica establecidas por la Comisión de la Unión Europea y el desarrollo de programas de vigilancia radiológica ambiental.

Los programas específicos de vigilancia requeridos para dar cumplimiento a lo establecido en los artículos 35 y 36 de Euratom se han consensuado en las reuniones periódicas mantenidas por representantes de los Estados miembros y de la Dirección General XI de la Comisión. Para garantizar la necesaria uniformidad de los resultados, los Estados miembros solicitaron a la Comisión la publicación de una recomendación sobre la aplicación de estos artículos.

En este trabajo se analizan los requisitos sobre la vigilancia radiológica ambiental establecidos en dichos artículos, se describen las redes y programas de vigilancia desarrollados en los países de

la Unión Europea para dar cumplimiento a los mismos, con especial referencia a la situación española, y se presentan los aspectos más relevantes de la nueva recomendación.

2. Los artículos 35 y 36 del tratado Euratom

El tratado Euratom contempla dos aspectos específicos en relación con la vigilancia radiológica ambiental: el propio desarrollo de programas de vigilancia y la necesidad de informar a la Comisión de los resultados de los mismos, para conocer los niveles de radiación a que se encuentra expuesta la población en los Estados miembros.

El artículo 35 establece que:

a) "Cada Estado miembro creará las instalaciones necesarias a fin de controlar de modo permanente el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y del suelo, así como la observancia de las normas básicas".

b) "La Comisión tendrá derecho de acceso a estas instalaciones de control: podrá verificar su funcionamiento y eficacia".

El primer punto constituye la base de los programas de vigilan-

* L. M. Ramos es jefe del área de Protección Radiológica de P. Público y del Medio Ambiente del CSN y R. Salas es técnico de dicho área.



Figura 1. Toma de muestras de suelo.

cia desarrollados en los países de la Unión Europea para determinar los niveles de radiactividad ambiental. Los términos *aire*, *agua* y *suelo* se utilizan con un significado amplio, incluyendo todos los compartimentos de la biosfera. En este sentido merece la pena destacar que si bien en principio se analizaban muestras de suelo de modo sistemático, éstas se han ido sustituyendo por muestras de agua de lluvia (medida de la deposición húmeda), leche y otros alimentos, buenos indicadores de la transferencia al hombre de las sustancias radiactivas depositadas en el suelo.

No es éste el único aspecto que debe entenderse con amplitud; así, el medio ambiente objeto de vigilancia no se limita al entorno de las instalaciones que emiten efluentes radiactivos susceptibles de producir un cierto impacto radiológico en el exterior, sino a todo el territorio; la razón de esta amplitud del alcance de la vigilancia debe buscarse en

la preocupación que despertaban las pruebas de armas nucleares que se estaban llevando a cabo en el momento de constituirse el tratado.

En cuanto al segundo párrafo del artículo, las verificaciones de la Comisión pueden realizarse en cualquier región donde se lleven a cabo programas de vigilancia radiológica ambiental, incluyendo las principales instalaciones que realicen vertidos de efluentes radiactivos en la zona objeto de la verificación. La Comisión interpreta [2] que el ámbito de su competencia comienza donde ya no es posible ejercer ningún control de los vertidos de la instalación, e incluye la instrumentación de vigilancia de las descargas de efluentes líquidos y gaseosos en la medida en que ésta es necesaria para determinar su impacto radiológico. Éste ha sido el planteamiento de la mayoría de la verificaciones llevadas a cabo en diversos países, entre ellas la que se realizó a la central nuclear Vandellós II en 1994, si

bien no todos los Estados miembros han compartido esta interpretación.

El artículo 36 establece lo siguiente: "La información relativa a los controles mencionados en el artículo 35 será comunicada regularmente por las autoridades competentes a la Comisión, a fin de tenerla al corriente del índice de radiactividad que pudiese afectar a la población".

En cumplimiento de este artículo, los Estados miembros remiten regularmente a la Comisión información sobre los resultados de la vigilancia radiológica ambiental en su territorio. Originalmente, esta información incluía tanto los resultados de la vigilancia llevada a cabo por los titulares en el entorno de las instalaciones como la relativa a los programas desarrollados por las autoridades competentes fuera de la zona de influencia de las mismas. Posteriormente, la información facilitada se refiere exclusivamente a la vigilancia radio-

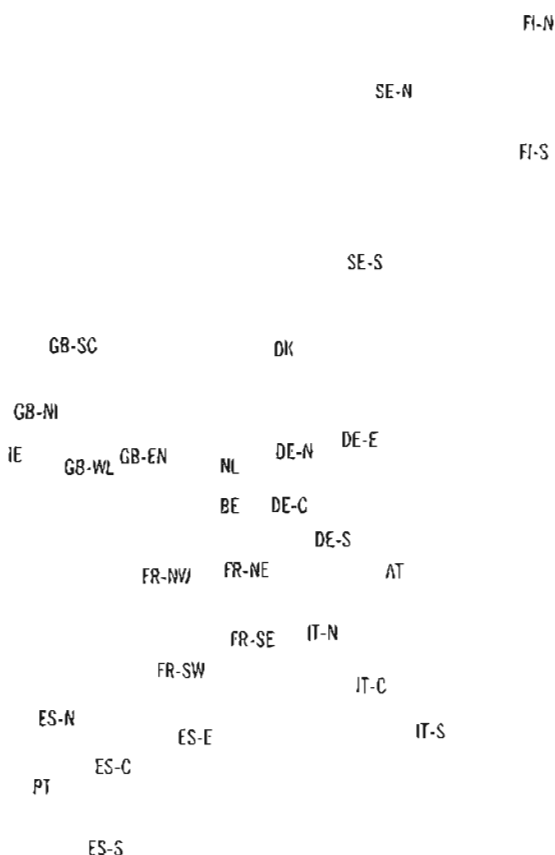
lógica de las zonas no afectadas por los vertidos de las instalaciones, aunque en el caso del agua superficial esto no es siempre posible; esta reducción no supone, no obstante, una variación en el alcance de la vigilancia que requiere el artículo 35, el cual sigue incluyendo la zona de influencia de las centrales nucleares e instalaciones del ciclo del combustible. Los datos facilitados a la Comisión por los países de la Unión Europea se integran en una base denominada *Radioactivity Environmental Monitoring*, creada a raíz del accidente de Chernóbil, a la que pueden tener acceso usuarios externos vía Internet.

La Comisión publica regularmente informes sobre los resultados de la vigilancia radiológica ambiental en los Estados miembros, con objeto de presentar una información global de los mismos, tratando de obtener resultados coherentes entre los distintos países. Este planteamiento no es aplicable al entorno de las instalaciones, donde la vigilancia está encaminada a determinar la exposición de los grupos críticos de la población local, y cuyo control es competencia de las autoridades nacionales correspondientes. Por otra parte, esta información local tiene poca relevancia a un nivel geográfico más amplio, como el que incluye otros países miembros. Las primeras publicaciones de la Comisión se remontan a los años 60, habiéndose editado el último informe, correspondiente a 1993 [3], en el año 1998.

3. Redes y programas de vigilancia

Los programas de vigilancia requeridos y la información a remitir a la Comisión se han ido modificando a lo largo del tiempo; los cambios se han consensuado en las reuniones periódicas mantenidas por representantes de los Estados miembros, y han afectado tanto al alcance de los programas como a las muestras y análisis realizados. España parti-

► **Figura 2.** Regiones de los países de la Unión Europea en el marco de los artículos 35 y 36 de Euratom. Las Islas Canarias están incluidas en la Región Sur (ES-S).



cipó por primera vez en estas reuniones en 1987, representada por expertos del CSN y del Ministerio de Sanidad, y asiste con regularidad desde 1992, representada por expertos del CSN. Los datos españoles han sido facilitados por el Consejo, correspondiendo los primeros a los resultados de los programas de vigilancia implantados en el entorno de las centrales nucleares en el periodo 1984-86, y a la vigilancia de los ríos llevada a cabo por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Cedex); a partir de 1992, al desarrollarse los programas de vigilancia de ámbito nacional, se incorporaron los resultados de la atmósfera y del suelo.

Con el cese de las pruebas nucleares en la atmósfera, los niveles de contaminación debidos a las mismas se redujeron progresivamente y desde el comienzo de los años 80 se obtuvieron cada vez con mayor frecuencia resultados menores que los *límites inferiores de detección* (LID). Con objeto de simplificar la presentación de resultados, se establecieron unos *niveles de notificación* (*reporting levels*) para los distintos radionucleidos en cada una de las muestras analizadas. Estos niveles corresponden a los valores de concentración derivados de una dosis de 1 Sv, valor considerado suficientemente bajo, teniendo en cuenta que el límite de dosis al público se establece en 1

mSv [4]. Los Estados miembros remiten a la Comisión todos los resultados obtenidos, incluyendo ésta en sus informes solamente aquellos valores numéricos que superen dichos niveles.

Los niveles de notificación son aplicables al conjunto de datos obtenidos en una amplia red de vigilancia radiológica ambiental implantada en todo el territorio de la Unión Europea, conocida como *dense network* (en adelante *red densa*). Los procedimientos de muestreo y análisis utilizados y los LID obtenidos en esta red son los habituales en los programas de vigilancia radiológica ambiental, determinados por el *estado del arte* en la materia y acordes con la práctica seguida en los Estados miembros, teniendo en cuenta los valores de dosis indicados. De los informes de la Comisión se desprende que en esta red sólo en contadas ocasiones y para cierto tipo de muestras los valores obtenidos son superiores a los niveles de notificación.

No obstante, y de modo complementario a este esquema, se plantea la necesidad de medir los niveles de radiactividad ambiental, por pequeños que éstos sean, de modo que la comparación de los datos obtenidos en periodos suficientemente amplios permita verificar los resultados de la red densa y analizar las tendencias y la evolución de los niveles de radiactividad. Para conseguir este objetivo se decide que cada Estado miembro seleccione un número reducido de puntos en los que se realicen medidas con la mayor sensibilidad posible; estos puntos constituyen la denominada *sparse network* (en adelante *red espaciada*). En esta red, el volumen de las muestras y los procedimientos de análisis y medida deberán ser tales que permitan obtener valores superiores a los LID que resultarán, en algunos casos, notablemente inferiores a los obtenidos en la red densa.

La Comisión dio a cada Estado miembro la posibilidad de dividir

● Tabla 1. Programa de vigilancia actual de la Unión Europea.

Tipo de muestra	Análisis realizados	
	Red densa	Red espaciada
Aire	Beta total	^7Be ^{137}Cs
Agua superficial	Beta resto	^{137}Cs
Agua potable	^3H	^3H
	^{90}Sr	^{90}Sr
	^{137}Cs	^{137}Cs
Leche	^3H	
	^{90}Sr	^{90}Sr
	^{137}Cs	^{137}Cs
Dieta tipo	^{90}Sr	^{90}Sr
	^{137}Cs	^{137}Cs

su territorio, cuando éste sobrepasaba una cierta extensión, en regiones geográficas; en la mayoría de los países esta división se realizó teniendo además en cuenta aspectos administrativos, resultando un total de 31 regiones en la Unión Europea (figura 2). Como puede observarse, en España se establecieron cuatro zonas: norte, centro, este y sur.

En la tabla 1 se resumen los tipos de muestras y análisis requeridos actualmente. Los datos relativos a ambas redes empezaron a publicarse en el informe de la Comisión que incluye los resultados de los años 1987-1990 [5].

4. Recomendación de la Comisión sobre la aplicación de los artículos 35 y 36

Si bien, como se ha indicado anteriormente, en las reuniones anuales de expertos de la Dirección General XI y de los Estados miembros se establecen acuerdos sobre el alcance de la vigilancia radiológica ambiental, no todos los países realizan de forma rutinaria el programa descrito en la tabla 1, ya que dichos acuerdos no son de obligado cumplimiento.

El desarrollo por la Comisión de recomendaciones para facilitar a

los Estados miembros el cumplimiento de los distintos requisitos del tratado de Euratom con una cierta uniformidad, es una práctica habitual. Por esta razón, en la reunión celebrada en noviembre de 1996 los asistentes solicitaron a la Comisión que aprobase una recomendación sobre las condiciones para el adecuado cumplimiento de los artículos 35 y 36. En octubre de 1997 se estableció un grupo de trabajo para la elaboración de un borrador de la misma, cuyo contenido fue discutido en la reunión mantenida en noviembre de 1998. El documento, una vez superado el proceso formal de aprobación por la Comisión, se publicará probablemente a comienzos del 2000.

En este apartado se presenta el programa específico y los requisitos de vigilancia y de transmisión de resultados requeridos en la recomendación para asegurar la uniformidad, posibilidad de comparación y transparencia de los programas de vigilancia y de la información remitida por los Estados miembros, de acuerdo con el último borrador disponible [6], en el que no cabe esperar cambios sustanciales. Este documento se inicia con una serie de consideraciones previas, que contemplan aspectos tales como:

— La importancia de que la Comisión sea informada puntualmente, y con unos criterios uniformes, de los niveles de radiactividad a los que está expuesta la población en cada Estado miembro, para poder garantizar que la exposición de la población está controlada.

— La necesidad de revisar qué medios de muestreo y qué radionucleidos son indicadores relevantes de los niveles reales y potenciales de radiactividad en el medio ambiente y de la exposición de la población.

— El consenso alcanzado entre los Estados miembros sobre lo adecuado de los programas actuales de vigilancia, los cuales pueden, no obstante, cambiar en función de la evolución de los niveles de radiac-

► **Tabla 2.** Programa de vigilancia según la nueva recomendación de la UE.

Medio	Tipo de medida	
	Red densa	Red espaciada
Aerosoles	Cs-137, beta total	Cs-137, Be-7
Aire	Dosis gamma ambiental	Dosis gamma ambiental
Agua superficial	Cs-137, beta resto, K-40	Cs-137, K-40
Agua potable	H-3, Sr-90, Cs-137 Radionucleidos naturales	H-3, Sr-90, Cs-137, K-40 Radionucleidos naturales
Leche	Cs-137, Sr-90	Cs-137, Sr-90, K-40
Dieta tipo	Cs-137, Sr-90	Cs-137, Sr-90, K-40

tividad, de la tecnología aplicable, y de las necesidades de la respuesta a emergencias.

— La observación de que la vigilancia de las tasas de dosis ambientales y de los alimentos proporciona una estimación más directa de los niveles de radiactividad relevantes para la exposición de la población que la vigilancia del suelo.

Redes de vigilancia

Entre los diversos términos definidos en el documento se incluyen los dos tipos de redes de vigilancia:

— *Red de vigilancia densa:* es una red de vigilancia que comprende puntos de muestreo distribuidos por todo el territorio de los Estados miembros, de modo que permita a la Comisión calcular medias regionales de los niveles de radiactividad en la Unión Europea.

— *Red de vigilancia espaciada:* es un subconjunto de la red densa que comprende para cada región y para cada medio muestreado al menos una localización representativa de dicha región. En estos puntos se realizarán medidas de gran sensibilidad de manera que permitan un seguimiento de los niveles existentes de radiactividad y de sus tendencias.

En concordancia con la práctica actual, la recomendación requiere que cada Estado miembro defina las regiones geográficas representativas de su propio territorio, así como la red densa y la espaciada para cada tipo de muestra. Por lo

que hace referencia a los puntos de cada una de las redes:

— Deberán ser representativos de la región, considerando, cuando sea necesario, la distribución de la población en la misma.

— Estarán a una distancia suficiente como para no verse afectados por las descargas rutinarias de las principales instalaciones nucleares u otras fuentes importantes de radiactividad artificial y principales fuentes de radiactividad natural incrementada.

Programa de vigilancia

En la tabla 2 se presentan los tipos de muestras y los análisis a realizar, cuyos resultados deben remitirse periódicamente a la Comisión para cumplir con las obligaciones de los artículos 35 y 36 del tratado Euratom.

Las medidas deben realizarse utilizando técnicas de probada fiabilidad, con una frecuencia preferiblemente mensual, excepto en los casos que se indique específicamente otra frecuencia; se debe asegurar el control de calidad de los resultados, requiriéndose la participación periódica de los laboratorios involucrados en la vigilancia en ejercicios de intercomparación, en particular en los organizados por la Comisión. En la red espaciada los LID serán tales que permitan cuantificar los niveles existentes, y en la red densa serán menores que los niveles de notificación que se recogen en la recomendación y que

coinciden con los establecidos anteriormente.

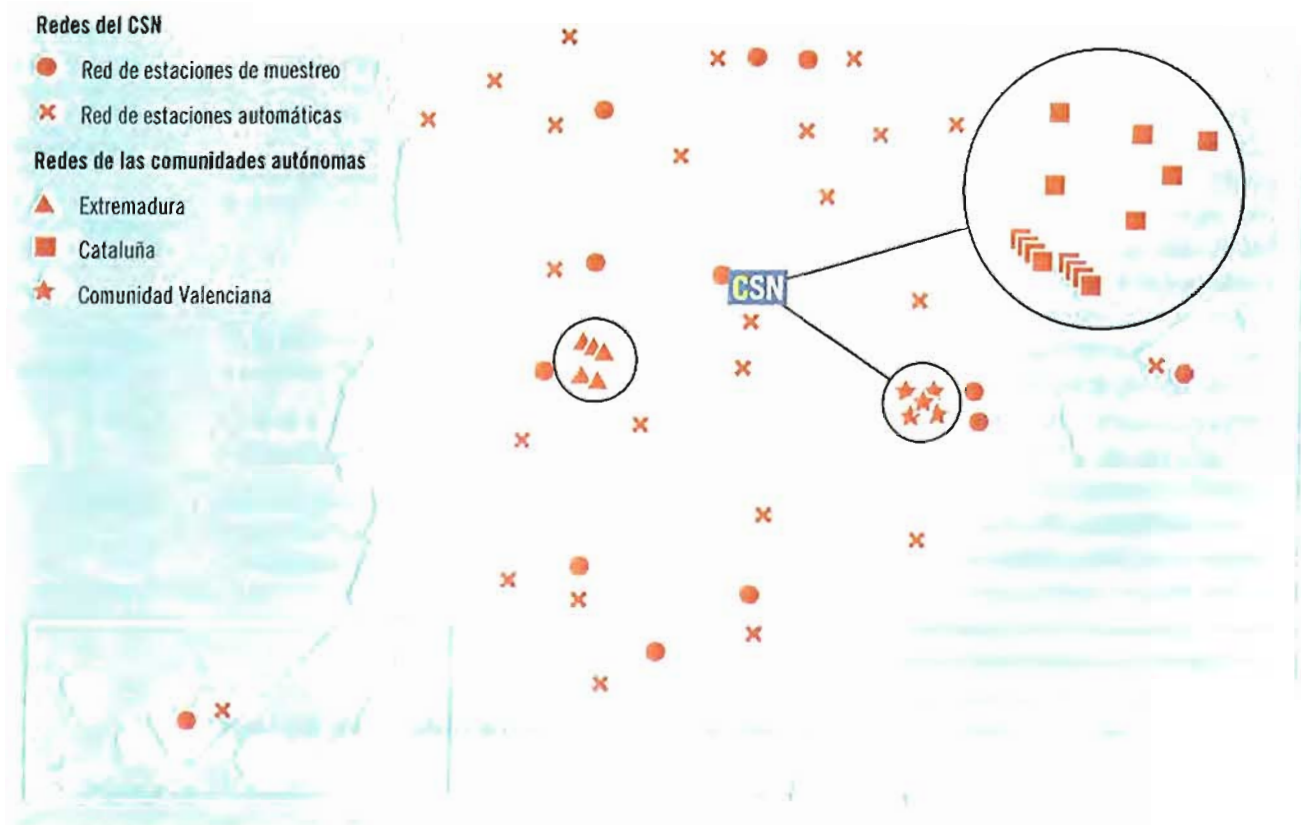
Respecto a la recogida de las muestras y su análisis, la recomendación indica lo siguiente:

— *Partículas de polvo.* Los puntos de muestreo deben situarse en áreas densamente pobladas, asegurándose una adecuada cobertura regional mediante la selección de al menos una estación de muestreo en cada región. Para la recogida de las muestras se requiere un sistema que opere en continuo; se solicita la determinación de radionucleidos emisores gamma de origen artificial y natural mediante espectrometría gamma. El Be-7 se utiliza como control cualitativo del método usado. Los países que realicen medidas del índice de actividad beta total, deberán enviar también sus resultados.

— *Dosis gamma ambiental.* Debe medirse en continuo.

— *Agua superficial.* Se requiere la recogida de muestras de las aguas continentales de cada Estado miembro, así como de las aguas costeras cuando éstas representen una parte importante del territorio; se debe facilitar, siempre que sea posible, el caudal medio durante el periodo de muestreo de los ríos vigilados, a fin de mejorar la representatividad de los valores medios calculados por la Comisión. Los análisis deben incluir radionucleidos emisores gamma; los países que realicen medidas de la actividad beta resto, deberán enviar también sus resultados. La determinación del K-40 se lleva a cabo como un control cualitativo del método de medida utilizado.

— *Agua potable.* La vigilancia de los niveles de radiactividad en el agua de bebida debe garantizar el cumplimiento de la directiva del Consejo 98/83/EC [7]. En el marco del artículo 36 de Euratom se enviarán a la Comisión resultados de los principales abastecimientos de aguas subterráneas o superficiales y redes de distribución que aseguren una cobertura representativa de cada Estado miembro, incluyendo también la capacidad de abasteci-



► Figura 3. Red de vigilancia radiológica ambiental en España.

miento, para un adecuado tratamiento estadístico de los datos.

— *Leche*. Las muestras deben recogerse en centros de producción, cuyo número deberá ser suficiente para garantizar la representatividad de los datos de cada país. Se deben analizar radionucleidos emisores gamma y Sr-90. El K-40 debe incluirse por las razones expuestas con anterioridad para el agua superficial; asimismo, se deben facilitar los datos sobre las tasas de producción para mejorar la representatividad de los valores medios calculados por la Comisión.

— *Dieta tipo*. Se considera preferible el muestreo de comidas completas para obtener un número representativo del nivel medio de radiactividad en una dieta tipo, aunque también podría realizarse la medida de los ingredientes por separado siempre que se remita, junto con los resultados, información sobre la composición de la dieta. Las muestras deben recogerse en centros donde se sirva

gran número de comidas completas; cuando se adquieran los alimentos por separado, se obtendrán en mercados que abastezcan a grandes grupos de población. Se realizarán los mismos análisis que en el caso de la leche. La frecuencia de las medidas deberá ser, al menos, trimestral.

Envío de resultados

Cada Estado miembro debe remitir a la Comisión los datos del programa descrito, obtenidos en cada año natural, tan pronto como estén disponibles, con una fecha límite del 30 de junio del año siguiente, así como las dosis a la población, estimadas a partir de las medidas realizadas en estos programas. Los datos deben ser sometidos a un control de calidad adecuado antes de su envío a la Comisión. En la recomendación se especifica toda la información a remitir y se solicita su envío en soporte electrónico, con un formato que facilita la propia Comisión. Se requiere, además, el envío de los in-

formes sobre la vigilancia nacional de cada Estado miembro.

5. La vigilancia radiológica ambiental en España

La vigilancia radiológica ambiental en España se lleva a cabo fundamentalmente mediante la red implantada por los titulares en el entorno de las centrales nucleares e instalaciones del ciclo del combustible nuclear y por la red de vigilancia de ámbito nacional del CSN (Revira). Esta última está integrada por una red de estaciones automáticas (REA), para la medida en tiempo real de la radiactividad de la atmósfera y una red de estaciones de muestreo (REM), donde se desarrollan programas de muestreo y análisis de la atmósfera, del medio terrestre, de los ríos y de las costas. Existen, además, otras redes de vigilancia del aire no operadas por el Consejo, como son las redes de las comunidades autónomas de Cataluña, Valencia y Extremadura. La

Dirección General de Protección Civil dispone también de una red de alerta a la radiactividad (RAR), que mide la tasa de radiación en unos 900 puntos del país.

La vigilancia alrededor de las instalaciones se empezó a desarrollar durante el licenciamiento de éstas, de acuerdo con las condiciones establecidas en las respectivas autorizaciones, siguiendo la práctica internacional. De este modo, al incorporarse España a la Unión Europea, se cumplían los requisitos de vigilancia a este nivel que requiere el artículo 35.

La implantación de las instalaciones necesarias para conocer el fondo radiológico del país y para dar cumplimiento a lo requerido por Euratom ha seguido un proceso diferente según el medio a vigilar.

Para la vigilancia de los ríos, el CSN estableció en 1987 un acuerdo específico de colaboración con el entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, dentro del acuerdo marco de colaboración firmado por ambos organismos en 1984, por el cual el CSN participa en el programa de vigilancia radiológica de las aguas de todas las cuencas de los ríos españoles implantado por el Cedex. En 1993, el CSN solicitó la inclusión en dicho acuerdo de la vigilancia radiológica de las costas españolas, a fin de conocer los niveles de radiactividad del litoral español.

Los programas de vigilancia de la atmósfera y el medio terrestre se han desarrollado con la colaboración de ciertas universidades, suscribiéndose a partir de 1992 acuerdos con 14 laboratorios, que se ampliaron a 18 en 1997. Estos programas permiten disponer de datos radiológicos relativos al suelo, aire y agua de lluvia; adicionalmente, el CSN dispone de los resultados de los controles radiológicos del agua de bebida en diversas zonas del territorio nacional, facilitados por el Cedex y el consorcio de aguas de Tarragona.

Desde el comienzo de la im-

● **Tabla 3. Programa de vigilancia de la atmósfera y el medio terrestre en España.**

Tipo de muestra	Frecuencia de muestreo	Tipo de análisis	Frecuencia de análisis
Aerosoles	Muestreo continuo. Cambio de filtro semanal	Alfa y Beta total, Sr-90, espectrometría γ	Semanal. Trimestral comp.
Radioyodos en aire	Muestreo continuo. Cambio de filtro semanal	I-131	Semanal
Agua de lluvia o depósito seco*	Muestreo continuo	Beta total, Sr-90, espectrometría γ	Mensual. Trimestral comp.
Suelo	Anual	Beta total, Sr-90, espectrometría γ	Anual
Agua potable	Variable	Alfa total, beta total y resto, H-3, Sr-90 espectrometría γ	Variable

* Depósito que se recoge en épocas de ausencia de lluvia.

● **Tabla 4. Programa de vigilancia de los ríos y las costas.**

Tipos de análisis	Frecuencia de muestreo
Índice de actividad alfa total	Según los puntos de muestreo: proporcional, continuo, mensual o trimestral
Índice de actividad beta total	
Índice de actividad beta resto	
Determinación de concentración de tritio	
Determinación de isótopos emisores gamma por espectrometría	

plantación de la red de vigilancia radiológica ambiental española se planteó la necesidad de desarrollar programas de garantía y control de calidad; ya en los primeros acuerdos de colaboración entre el CSN y los laboratorios que integran la REM se requería, como condición previa a su incorporación a esta red, el desarrollo de un documento técnico que incluyese una descripción de los equipos disponibles, los procedimientos de muestreo, análisis y medida utilizados por el laboratorio y el desarrollo de un programa de garantía de calidad; se solicitaba además la participación en los ejercicios de intercomparación analítica que el CSN organiza periódicamente desde 1992 con la

colaboración del Ciemat. Posteriormente, el CSN ha requerido a los laboratorios el desarrollo formal de un manual de calidad.

Los programas de la REM incluyen la vigilancia de las vías primarias de transferencia de los contaminantes radiactivos en el medio ambiente; en las tablas 3 y 4 se presenta un resumen de los mismos.

Por las características de los programas descritos, esta vigilancia se corresponde con la red densa en la Unión Europea, si bien no se realiza el programa completo de la misma; con objeto de dar un adecuado cumplimiento a los requisitos de la recomendación de la Comisión, el CSN ha aprobado recientemente la incorporación a los programas desarrollados por

el Consejo de los análisis de muestras de leche, dieta tipo y agua potable, así como la implantación de la red espaciada. Actualmente se están realizando los trámites necesarios para el desarrollo de los acuerdos con los laboratorios implicados, a fin de que en el año 2000 se inicie su implantación.

Teniendo en cuenta la ampliación aprobada por el Consejo, se describen a continuación los puntos de muestreo y análisis de la red densa:

— Aire y suelo: 18 puntos de muestreo ubicados en los campus de las universidades integradas en la REM (figura 3).

— Dosis gamma ambiental: 28 puntos de la REA (figura 3).

— Aguas continentales: 85 puntos ubicados en los ríos de las principales cuencas españolas.

— Agua de mar: 17 puntos, incorporando los 6 pendientes para completar la segunda fase de la vigilancia de las costas.

— Agua potable: 18 puntos de muestreo ubicados en los campus de las universidades integradas en la REM. Además de los 23 puntos repartidos en Madrid, Valencia, Murcia y Tarragona, manteniendo el programa que actualmente se lleva a cabo.

— Leche: seis puntos de muestreo ubicados en las comunidades

autónomas con mayor producción de leche del país (Galicia, Asturias, Cantabria, Cataluña, Castilla y León, y Andalucía).

— Dieta tipo: cinco puntos de muestreo ubicados en los puntos de la red espaciada.

La red espaciada española estará constituida por cinco puntos ubicados en cada una de las regiones de la figura 2 y en las islas Canarias; en la zona norte se prevé además la ubicación de un equipo para la toma de muestras de aerosoles en La Coruña. El programa a desarrollar en esta red se adaptará a lo requerido en la nueva recomendación de la Comisión. 

Referencias

[1] *Acta final de la Conferencia Intergubernamental sobre el Mercado Común y el Euratom*. BOE nº 1 | enero 1986.

[2] Janssens A. *Requirements for environmental monitoring in the Euratom Treaty*. Jornadas de calidad en el control de la radiactividad ambiental. Bilbao, 17-18 septiembre 1998.

[3] Radiation Protection Nº 94: *Environmental Radioactivity in the European Community*. 1993. European Commission. DG XI. Environment, Nuclear Safety

and Civil Protection, JRC, Environment Institute (Ispra).

[4] Directiva 96/29/Euratom del Consejo, de 13 de mayo de 1996, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. L 159/L. Diario oficial de las Comunidades Europeas. 29 junio 1996.

[5] Radiation Protection nº 84. *Environmental Radioactivity in the European Comm-*

munity. 1987-1988-1989-1996. European Commission. DG XI. Environment, Nuclear Safety and Civil Protection (Luxemburg). JRC, Environment Institute (Ispra).

[6] Borrador de la *Commission recommendation of [...] on the application of Article 36 of the Euratom Treaty*.

[7] Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. L 330/32. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 5 diciembre 1998.

La Escala de Sucesos en Instalaciones Radiactivas

Al igual que en las instalaciones nucleares, la población demanda información rápida y comprensible de los sucesos de cierta significación en las instalaciones radiactivas. Para que esta información sea

emitida y recibida de manera objetiva, los autores proponen el desarrollo de una escala de sucesos en instalaciones radiactivas basada en los principios de la escala INES, pero adaptada a las particularidades de ese área.

1. Introducción

En el campo de la industria nuclear, se comenzó a aplicar en 1991 un método internacional de clasificación de incidentes denominado Escala de Sucesos Nucleares (INES). La escala fue diseñada por un grupo internacional de expertos convocados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la OCDE. El objetivo de la misma era proporcionar un mecanismo para comunicar pronta y coherentemente al público el significado que tienen para la seguridad los sucesos acaecidos en las centrales nucleares. Se había comprobado, a raíz de los diferentes sucesos en instalaciones nucleares, la necesidad de situar los incidentes en una perspectiva correcta.

Desde entonces, se ha estado aplicando satisfactoriamente. El ámbito de esta escala son las instalaciones relacionadas con la industria nuclear civil (desde la minería y molienda de uranio, hasta el almacenamiento y evacuación de residuos), así como el transporte de materiales radiactivos hacia y desde esas instalaciones; además, la escala sólo clasifica sucesos relacionados con la seguridad nuclear o radiológica.

La escala INES consta de siete niveles (figura 1). El nivel máximo (nivel 7) es el resultado de un suceso nuclear que produce una liberación del orden de terabequerelios con múltiples consecuencias para el público y el medio ambiente. La estructura de la INES tiene la forma de una matriz con tres criterios distintos que se emplean para clasificar los sucesos nucleares: impacto fuera del emplazamiento, impacto dentro del emplazamiento y degradación de la defensa en profundidad.

El manual de usuario de la INES de 1992 no contempla, de manera explícita, los sucesos ocurridos en las instalaciones radiactivas debido

a los atributos propios de este tipo de instalaciones, de los cuales se hablará mas adelante. Actualmente, sin embargo, se está planteando la posibilidad de su incorporación.

Las instalaciones radiactivas presentan una serie de características determinadas que las separan de las instalaciones nucleares. El número de tipos de instalaciones es enorme y, por tanto, hay una gran diversidad de diseños y procedimientos de trabajo; asimismo, y a diferencia de las instalaciones nucleares (en las que se encuentra definido el emplazamiento y las zonas bajo control del explotador), en las instalaciones radiactivas no existe un emplazamiento claramente delimitado, de forma que en múltiples situaciones el público se encuentra en áreas anexas a las dependencias de las mismas, como por ejemplo se puede observar en un hospital. Esta disparidad también se produce, por otro lado, en las instalaciones radiactivas con equipos móviles, donde no son aplicables similares criterios en cuanto a dentro o fuera del emplazamiento. Las barreras o funciones de seguridad en las instalaciones nucleares se

* M. Alonso es licenciada en ciencias físicas y máster en Energía Nuclear. M.L. Ramírez, médico especialista en medicina nuclear, es técnico del área de Instalaciones Radiactivas Médicas del CSN. F. Zamora, licenciado en Ciencias Químicas, es jefe del área de Instalaciones Radiactivas Industriales del CSN.

Figura 1. Soporte lógico de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares.

Nivel / Denominación	Criterios		
	Impacto fuera del emplazamiento	Impacto dentro del emplazamiento	Degradación defensa en profundidad
7 Accidente muy grave	Escape muy elevado de material radiactivo: efectos importantes extensos sobre la salud de las personas y el medio ambiente.		
6 Accidente grave	Escape importante: adopción total de medidas de protección al público.		
5 Accidente con riesgos fuera del emplazamiento	Escape limitado: adopción parcial de medidas de protección al público.	Daños graves al núcleo o a las barreras radiológicas.	
4 Accidente sin riesgo significativo fuera del emplazamiento	Escape pequeño: exposición del público a una dosis del orden del límite anual establecido.	Daño parcial al núcleo o a las barreras radiológicas. Exposición letal de trabajadores.	
3 Incidente importante	Escape muy pequeño: exposición del público a una fracción del límite de dosis establecido.	Contaminación muy importante dentro del emplazamiento / efectos agudos para la salud de los trabajadores causados por radiaciones.	Proximidad al accidente / pérdida de todos los niveles de la defensa en profundidad.
2 Incidente		Contaminación significativa dentro del emplazamiento, sobreexposiciones de trabajadores.	Incidentes con fallos significativos en las provisiones de seguridad.
1 Anomalía			Desviaciones de las situaciones operacionales autorizadas.
0 Por debajo de la escala-desviación	Sin trascendencia para la seguridad		

encuentran muy establecidas y definidas, a diferencia de lo que ocurre en instalaciones radiactivas, que están constituidas en general por equipos con un funcionamiento más o menos sencillo y con un automatismo menor, por lo que la seguridad va a descansar en un grado relativamente mayor en el denominado factor humano. Los sucesos en la escala INES están relacionados con la liberación de material radiactivo al medio ambiente. Sin embargo, un

número significativo de sucesos en instalaciones radiactivas se debe a irradiación de los trabajadores profesionalmente expuestos o del público debido a exposición a una fuente radiactiva sin que se haya producido liberación del material radiactivo (esta situación, que se está actualmente planteando incorporar a la escala INES, es una de las diferencias importantes entre los sucesos que ocurren en instalaciones nucleares y radiactivas).

En consecuencia, el desarrollo de una escala de sucesos aplicable a las instalaciones radiactivas debería tener en cuenta las citadas diferencias.

2. Necesidad de una escala de clasificación de sucesos en instalaciones radiactivas

El desarrollo de una escala de clasificación de sucesos queda justificado por la necesidad primaria y fundamental de informar a la po-

blación de una manera rápida, comprensible y objetiva sobre la gravedad de esos sucesos. En efecto, para el público puede ser difícil valorar en sus justos términos la gravedad de un suceso partiendo de informaciones excesivamente técnicas. Esto puede traer consigo malas interpretaciones, a veces opuestas a lo que se pretende transmitir, y favorece posibles manipulaciones de la información.

Estos fueron algunos de los principales argumentos que impulsaron en su día la escala de sucesos nucleares INES, que dejó al margen el mundo de las instalaciones radiactivas debido a la complejidad de aplicación de la escala, ante su enorme diversidad y número, en comparación con las del ciclo de combustible nuclear.

En el caso de las instalaciones radiactivas esos mismos argumentos también pueden ser válidos. Aunque la menor complejidad técnica que en general tienen estas instalaciones permite una mayor facilidad en la transmisión de la información al público, puede ser, en cualquier caso, muy interesante disponer de una herramienta que, a demanda de aquél o por iniciativa de la autoridad competente, ayude a reducir al máximo la subjetividad en la interpretación de la gravedad de un suceso por parte de personas no expertas en el tema.

Ahora bien, la escala como herramienta de información no tiene por qué ser utilizada en la misma extensión que lo es la escala INES. Hay dos diferencias fundamentales entre un mundo y otro para poder hacer esa matización: existen muchísimas más instalaciones radiactivas y la mayoría son de muy bajo riesgo, por lo que no es preciso disponer de sistemas de seguridad y procedimientos de protección radiológica tan severos. Esto trae consigo que el número de incidencias en un mismo periodo sea mucho mayor en las instalaciones radiactivas que en las del ciclo de combustible nuclear, aunque su

gravedad será en la mayoría de los casos muy pequeña. Existe una diferencia más, la trascendencia y preocupación que genera un suceso en una instalación nuclear en la opinión pública es mucho mayor que en el caso de las instalaciones radiactivas. A la vista de estas diferencias, posiblemente no sea imprescindible que todo suceso clasificable en una escala de instalaciones radiactivas haya de ser comunicado inmediatamente a la opinión pública, como en el caso nuclear. Probablemente, no sería adecuado abrumar a la opinión pública con sucesos de mucha diversidad y sin gravedad: la sociedad no lo demanda y muy posiblemente se provocaría el efecto contrario al buscado con una escala de este tipo, que es no magnificar los riesgos.

Por otra parte, la información a la población no es la única utilidad que podría justificar una escala de este tipo. Existen usos muy interesantes para el organismo regulador que podrían mejorar sus actividades en el ámbito de la protección radiológica.

Pensemos, por ejemplo, en el interés que tendría esa clasificación al desarrollar algo tan importante como una base de datos de sucesos. La clasificación ayudaría a algo tan básico como decidir a partir de qué nivel de sucesos sería necesario el registro en la base de datos; pero además permitiría, una vez considerada en esa base de datos, efectuar estadísticas sobre la seguridad de las instalaciones, en función del número de sucesos de distinta gravedad que se produzcan en ellas. Estas estadísticas se podrían hacer no sólo sobre el global de las instalaciones sino para cada uno de los diferentes campos de aplicación o tipos de esas instalaciones.

Sería, por tanto, una herramienta muy interesante para la autoridad competente que podría identificar áreas que precisaran de mejora y podría definir vías de acción para incrementar la seguridad de los distintos tipos de instalación. Qué mejor que un incidente para

aprender lecciones y poner medios que puedan evitar otros nuevos en el futuro.

Otra aplicación que justifica el desarrollo de la escala sería que podría usarse como base para definir a partir de qué nivel de gravedad un suceso debe ser notificado por los titulares de las instalaciones a la autoridad competente. Ésta es una cuestión que en el ámbito de las instalaciones nucleares está bastante bien definido, pero no ocurre lo mismo en el caso de las radiactivas. En efecto, en la mayoría de los casos los criterios sobre notificación de sucesos en instalaciones, radiactivas precisan de una mayor clarificación. Así, bien sea en guías de seguridad o en las especificaciones de funcionamiento de las autorizaciones de las instalaciones, el criterio que define cuándo un suceso ha de ser notificado suele estar expresado en términos tan genéricos que el titular de una instalación lo puede interpretar tan estrechamente como le es "razonablemente posible" y, por contra, la autoridad competente puede llegar a entenderlo de una forma bastante más amplia.

En definitiva, la escala de sucesos permitiría establecer para los distintos tipos de instalaciones el nivel de clasificación a partir del cual se debe notificar el suceso. De esta manera, la subjetividad se reduciría al mínimo posible. Considerando estos argumentos, y fundamentalmente a raíz del desarrollo de una base de datos de incidentes en instalaciones radiactivas, el Consejo de Seguridad Nuclear decidió abordar una escala de clasificación de sucesos en esas instalaciones y estableció un acuerdo con la Universidad Autónoma de Madrid para su ejecución. El presente artículo trata de recoger la opinión de las personas que han participado directamente en la ejecución del proyecto sobre cómo debe enfocarse la escala de sucesos y sobre las conclusiones principales que se han alcanzado en su desarrollo.

Teniendo en consideración los argumentos antes expuestos sobre

las utilidades de la escala y previamente a entrar en su explicación, es importante hacer notar que la escala valora la gravedad de un suceso sólo teniendo en cuenta consideraciones de impacto radiológico; no entra pues en consideraciones de impacto social o económico de los sucesos, ya que desde estos puntos de vista la valoración de la gravedad puede ser totalmente distinta, pero entendemos que debería ser abordada por otro tipo de clasificaciones.

3. Diferencias fundamentales con la escala INES

Debido a la existencia de una escala internacional de sucesos nucleares INES, los pasos para la elaboración de una escala para la clasificación de sucesos en instalaciones radiactivas podrían basarse en el entendimiento y metodología de la escala INES y en su posible acoplamiento en el campo estas instalaciones.

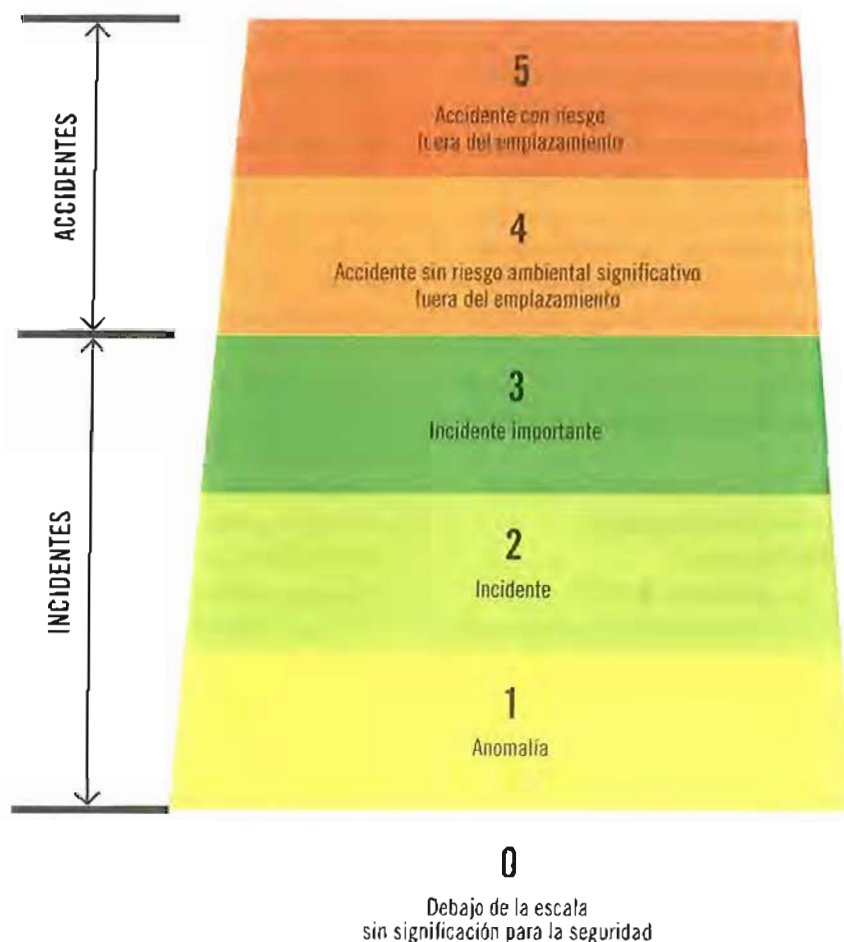
El trabajo que se está llevando a cabo en este campo ha adoptado la estructura y filosofía de la escala INES salvo en aquellos aspectos particulares de las instalaciones radiactivas donde se han introducido modificaciones.

Basándonos en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES), serían necesarias las siguientes modificaciones en una Escala de Sucesos de Instalaciones Radiactivas (ESIR):

— El riesgo potencial de que ocurriese un accidente con liberación de miles a decenas de miles de terabequerelios no existe; en consecuencia, los dos últimos niveles de la escala INES no son aplicables.

— Se ha considerado impacto fuera del emplazamiento a aquellas zonas no activas, muy cercanas en la mayoría de los casos a las dependencias de la instalación radiactiva, donde puede haber público. Además, el impacto fuera del emplazamiento tendrá en cuenta la exposición o irradiación a las personas clasificadas como público

Figura 2. Escala de Sucesos en Instalaciones Radiactivas (ESIR).



por el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, que no tiene por qué ser consecuencia de una liberación de material radiactivo.

— Como se ha comentado antes, los criterios de fuera y dentro del emplazamiento de la INES no tienen sentido en instalaciones radiactivas: por ejemplo, en el caso del uso de equipos móviles o en experiencias en campo con trazadores, el propio equipo o material radiactivo no se encuentra dentro de un recinto o instalación. En estos casos, los procedimientos operacionales deben ser considerados como barreras o funciones de seguridad básicas que tratan de evitar el impacto radiológico al público y a los trabajadores. La INES no ha considerado claramente los procedimientos operacionales como barreras.

— Existe una gran dificultad de aplicación de los criterios INES,

sobre todo en el área de defensa en profundidad, dada la diversidad en las instalaciones radiactivas. Para solventar esto, se ha optado por una clasificación de las instalaciones en función del riesgo, diferenciando las de alto riesgo de todas las demás. Se considera como instalación radiactiva de alto riesgo aquella en la que es posible alcanzar la máxima clasificación dentro de una escala de gravedad.

Es importante destacar que aunque ambas escalas pudiesen llegar a ser compatibles, consideramos que deberían ser independientes la una de la otra. En el caso de que la INES se aplicara a las instalaciones radiactivas daría como resultado un aumento en el número de notificaciones debido a los sucesos de las instalaciones radiactivas, ya que estas son mucho más numerosas. Esto podría implicar un incremento en la apreciación de riesgo del público hacia las instalaciones

nucleares, y a su vez una confusión social en lo que supone el riesgo de una instalación radiactiva, lo que se estima totalmente inapropiado.

En consecuencia, consideramos más adecuado la existencia de las dos escalas independientes, aunque basadas en unos conceptos comunes, en las que la apreciación de gravedad de un suceso no es intercambiable; es decir, lo que es grave en el mundo de las instalaciones radiactivas no tiene por qué ser tanto en el de las instalaciones nucleares.

4. La Escala de Sucesos para Instalaciones Radiactivas

4.1. Estructura general

Se ha considerado que los sucesos se podrían clasificar en cinco niveles, como puede verse en la figura

2. Los niveles inferiores, del 1 al 3, se denominarían incidentes, y los niveles 4 y 5, accidentes. Por otro lado, aquellos sucesos ocurridos que no tuviesen significación para la seguridad se clasificarían en el nivel 0, siendo aquellos sucesos que están debajo de la escala.

La estructura general de la escala está basada en tres criterios para la clasificación de suceso. En la figura 3 puede verse de forma matricial una orientación sobre las definiciones de cada uno de los niveles y su equivalencia en los diferentes marcos o criterios, el impacto fuera del emplazamiento, el impacto dentro del emplazamiento, y la defensa en profundidad.

El primer criterio sería el *impacto fuera del emplazamiento*, que consideraría el daño al público

por irradiación o por liberación de material radiactivo. Este criterio abarcaría desde el nivel 3 al 5, estableciéndose desde el nivel 3 por el hecho de que si el público se viese afectado por el impacto de un suceso en una instalación radiactiva sería síntoma de que ha sucedido un *incidente importante*.

El *impacto dentro del emplazamiento* tendría en cuenta el daño a los trabajadores profesionalmente expuestos por irradiación o liberación de material radiactivo dentro de la propia instalación, así como contaminaciones significativas de zonas activas. Este criterio abarcaría desde el nivel 2 al nivel 4, estableciendo como umbral un *incidente* ocurrido por el que un trabajador profesionalmente expuesto recibe una dosis comprendida entre

► Figura 3. Definición de cada uno de los niveles de la escala ESIR.

Nivel / Denominación	Impacto fuera del emplazamiento	Impacto dentro del emplazamiento	Degradación defensa en profundidad
5 Accidente con riesgo fuera del emplazamiento	Pérdida de control de material radiactivo y contaminación ambiental, con consecuencias agudas para la salud de miembros del público. Necesidad de aplicación parcial de contramedidas de protección.		
4 Accidente sin riesgo ambiental significativo fuera del emplazamiento	Liberación de material radiactivo o irradiación con exposición al público con superación de los límites establecidos.	Sobreexposición potencialmente fatal de algún trabajador profesionalmente expuesto.	
3 Incidente importante	Liberación de material radiactivo o irradiación muy pequeña con exposición al público del orden de décimas de milisieverts.	Sobreexposición de trabajadores profesionalmente expuestos pudiendo resultar efectos agudos para la salud.	Pérdida de todas las barreras de seguridad en instalaciones de alto riesgo radiológico.
2 Incidente		Contaminación significativa de material radiactivo. Exposición de trabajadores sobre los límites establecidos.	Pérdida o fallo de alguna de las funciones de seguridad. (Dependiendo de si la instalación es de alto riesgo o no).
1 Anomalía			Anomalía provocada por incumplimiento de las bases establecidas en el proyecto o por fallo de algún sistema de seguridad.
0 Suceso por debajo de la escala	Sin significación para la seguridad		

un rango de 20 mSv a 50 mSv, basándose en las modificaciones de los límites anuales establecidos en la Directiva 96/29/ Euratom.

El último criterio a considerar sería *la defensa en profundidad*. Este criterio tendría en cuenta dos factores importantes: el primero consistiría en las consecuencias máximas que podrían haberse producido si todas las funciones o barreras de seguridad hubiesen fracasado, y el segundo serían las funciones o barreras de seguridad que siguieron disponibles en la instalación radiactiva.

Por lo tanto, para determinar la clasificación de un suceso en el marco de la defensa en profundidad, siempre y cuando no haya habido impacto fuera ni dentro del emplazamiento, debería analizarse primero el riesgo potencial máximo que la instalación radiactiva tendría fuera del emplazamiento en ausencia de barreras o funciones de

seguridad, es decir el nivel máximo que habría alcanzado en la escala, lo cual sería función de la actividad de sus fuentes. Una vez analizadas las consecuencias potenciales máximas de la instalación, se procedería a determinar la clasificación en defensa en profundidad, para lo que se tendrá en cuenta el número de barreras o funciones de seguridad que subsisten.

Para esta clasificación, se analizará si la instalación es de alto riesgo o no lo es. Se clasificarían como instalaciones de alto riesgo aquellas en las que debido a la actividad de sus fuentes los sucesos posibles tendrían un riesgo potencial máximo, que podrían dar lugar al máximo nivel de la clasificación (nivel 5). Entre ellas se incluirían, por ejemplo, los irradiadores industriales y los equipos de teleterapia. En ausencia de barreras o funciones de seguridad, esto supondría una clasificación máxima de nivel 3 (inci-

dente importante) considerando solamente el marco de la defensa en profundidad. Es decir, que la clasificación considerará el riesgo potencial que implica un suceso anormal dentro de las instalaciones radiactivas, aunque no produzca un daño al público, a los trabajadores o al medio ambiente, y éste se tendrá en cuenta dentro del marco de la defensa en profundidad. El riesgo potencial máximo vendría determinado, como hemos expuesto anteriormente, por la actividad de las fuentes radiactivas de cada instalación. Las instalaciones no consideradas de alto riesgo serían aquellas cuyo riesgo potencial máximo no podría dar lugar nunca a un suceso de nivel máximo dentro de la clasificación (nivel 5) y, por tanto, consideramos que darían lugar a un nivel 2 (incidente) considerando sólo el marco de la defensa en profundidad en ausencia de todas sus barreras de seguridad.

Figura 4. Procedimiento general para la clasificación de sucesos en instalaciones radiactivas.

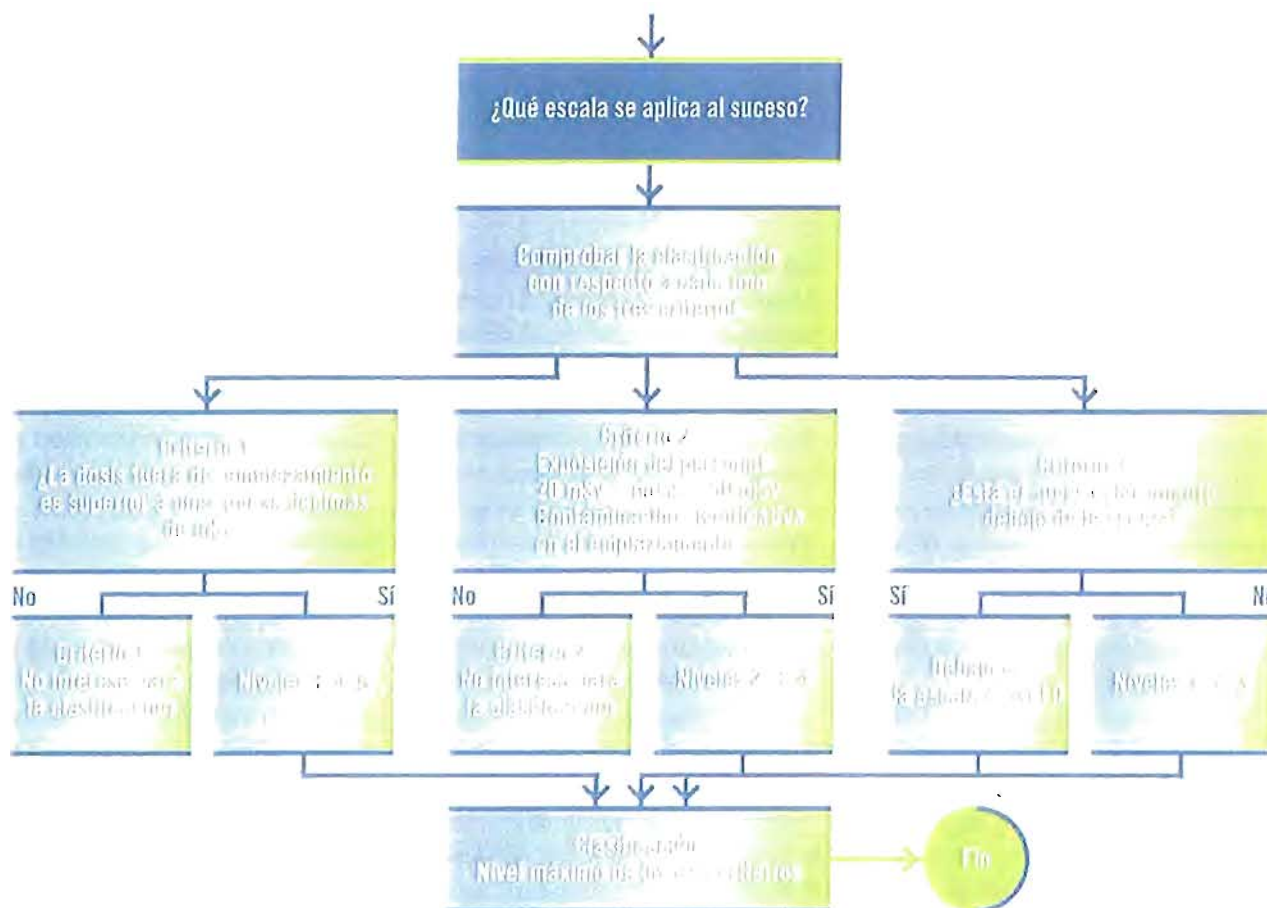


Figura 5. Escala ESIR: claves descriptivas, criterios y ejemplos.

	Nivel	Clave descriptiva	Criterio	Ejemplos
ACCIDENTES	5	Accidente con riesgo fuera del emplazamiento	• Pérdida de control de material radiactivo con contaminación ambiental y consecuencias agudas para la salud de algunos miembros del público. Esta liberación tendrá probablemente por resultado la puesta en práctica de contramedidas protectoras.	• Accidente radiológico de Goiânia (Brasil 1987).
	4	Accidente sin riesgo ambiental significativo fuera del emplazamiento	• Liberación de material radiactivo que tenga por resultado una dosis, al individuo más expuesto del público, del orden de algunos milisieverts u órdenes superiores. • Sobreexposición potencialmente fatal para la salud de uno o más trabajadores.	• Sobreexposición fatal de pacientes. Zaragoza (España 1990). • Sobreexposición potencialmente fatal. (San Salvador 1989).
INCIDENTES	3	Incidente importante	• Liberación de material radiactivo que tenga por resultado una dosis, al individuo más expuesto del público, del orden de algunas décimas mSv. • Sobreexposición de trabajadores profesionalmente expuestos pudiendo resultar efectos agudos para la salud. • Pérdidas de todas las funciones de seguridad de instalaciones de alto riesgo radiológico.	• Fusión de una fuente de Cesio en una planta de producción de acero inoxidable. Cádiz (España 1998).
	2	Incidente	• Incidente producido por pérdida o fallo de alguna de las funciones de seguridad (dependiendo de si la instalación es de alto o bajo riesgo). • Contaminación significativa de material radiactivo dentro de zonas activas. Irradiación de trabajadores alrededor de los límites anuales.	• Incidente ocurrido en instalación radiactiva de fabricación y control de calidad de generadores de Tc-99. Tres Cantos (España 1991).
	1	Anomalia	• Anomalia por incumplimiento de las bases establecidas en el proyecto o fallo de sistemas de seguridad de IRAS. También puede ser debida a fallos humanos.	
	0	Debajo de la escala	• Sin significación para la seguridad	

4.2. Metodología de clasificación

La metodología o procedimiento de clasificación de sucesos en instalaciones radiactivas podría llevarse a cabo de manera similar a la INES, tal y como se muestra en el diagrama de la figura 4. Lo primero que debería analizarse es si el suceso ocurrido queda dentro del campo de las instalaciones radiactivas, y si es así, se aplicarán cada uno de los criterios como se muestra en el diagrama.

El primer criterio consistiría en analizar si ha habido impacto fuera del emplazamiento, preguntándonos si las dosis al público fueron superiores a una pocas décimas de milisieverts, si es así habría que ver qué nivel ocupa den-

tro del impacto fuera del emplazamiento. Si el suceso no hubiese superado este umbral pasaríamos a analizar el segundo criterio.

En el segundo criterio se estudiaría el daño a los trabajadores profesionalmente expuestos, según el umbral indicado en el diagrama, así como posibles contaminaciones significativas de material radiactivo en zonas dentro de la propia instalación. En el caso de que se superase dicho umbral se debería verificar el nivel que ocuparía el suceso en el marco del impacto dentro del emplazamiento, y si no fuese así, pasaríamos a analizar el tercer criterio o defensa en profundidad. En este último, como dijimos anterior-

mente, se tendría en cuenta, por un lado, el riesgo potencial máximo de la instalación radiactiva y, por otro, las barreras o funciones de seguridad que subsisten; dependiendo de esto ocuparía un nivel u otro. Por último, y una vez analizados todos los criterios, la clasificación final sería la máxima obtenida de cada uno de ellos.

Una vez establecida una estructura y procedimiento de cómo creemos, a nuestro juicio, que puede ir encaminada una escala de clasificación de sucesos en instalaciones radiactivas, se procedió a comprobar y clasificar casos reales de sucesos ocurridos en instalaciones radiactivas en España y en otros países siguiendo la

orientación dada anteriormente. Una representación esquemática de estos resultados se muestra en la figura 5, donde además de establecerse cómo podrían ser las definiciones de los niveles, a su vez se muestran una serie de ejemplos que hemos clasificado según los criterios que hemos expuesto. Podemos ver, cómo entre los sucesos clasificados, en el nivel máximo se encuentra uno de los accidentes más graves ocurridos en el campo de las instalaciones radiactivas, como fue el accidente radiológico de Goiânia (Brasil 1987). A su vez, están clasificados otros sucesos en los que a pesar del gran impacto público que han tenido en medios de comunicación, las consecuencias radiológicas indican, que tal suceso co-

rrespondería a un incidente importante o nivel 3 dentro de una escala de gravedad.

5. Conclusiones

Hemos llegado a la realización de una Escala de Sucesos en Instalaciones Radiactivas (ESIR), que permite la clasificación de sucesos en función de su gravedad. Cabe destacar que la escala ha sido probada con ejemplos viendo su lógica y coherencia con sucesos reales ocurridos en España y en otros países.

La escala puede ser utilizada para diferentes fines, desde un uso interno por el CSN para la clasificación de sucesos en instalaciones radiactivas, dentro de la base de datos que actualmente está en fase final de aplicación, o

como base para definir los incidentes notificables por parte de los titulares.

También puede emplearse para la clasificación de sucesos notificables al público a partir de un determinado nivel que se estime adecuado; o incluso su uso completo para la pronta notificación de todos los sucesos a los medios y al público, es decir, semejante al empleo de la Escala de Sucesos Nucleares.

También sería posible la integración de la Escala de Sucesos en Instalaciones Radiactivas dentro de la escala INES. Aunque dicha integración se podría realizar de manera sencilla, estimamos por las razones esgrimidas a lo largo de este artículo que lo más conveniente es una escala independiente. 

Referencias

□ *Safety of radiation sources and security of radioactive materials*. Conference held in Dijon, France, 14-18 September, 1998. IAEA-TECDOC-1045.

□ Informes sobre los incidentes ocurridos en diferentes instalaciones radiactivas de España que se encuentran en archivos del Consejo de Seguridad Nuclear.

□ *El accidente radiológico de Goiânia*. OIEA, Viena, 1989.

□ *Enseñanzas deducidas de accidentes ocurridos en instalaciones de radiación industrial*. OIEA, Viena, 1997.

□ *Lessons learned from accidents in industrial radiography*. Safety Reports Series N° 7, 1998 OIEA.

□ *Report to Congress on abnormal occurrences*. 1995. U.S.-NRC-NUREG-0090. (Vol-18-N° 1).

□ *INES: The International Nuclear Event Scale. User's Manual*. Revised and Extended Edition. 1992.

□ *INES User's Manual*. Revised version, 1998. Final Draft (October, 1998).

La autorización de clausura como barrera de seguridad nuclear

Este artículo, además de evidenciar el acto administrativo de la autorización de clausura introducida en la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, pone de manifiesto cómo la citada

autorización de clausura es una acción legal (*barrera*) más de seguridad. El texto evidencia también que el desmantelamiento no es la única solución para la clausura de todas las instalaciones nucleares y radiactivas.

1. Introducción

Recuérdese que, según el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), uno de los principios básicos en seguridad nuclear para centrales nucleares es el de *defensa en profundidad* [1] y este se basa en las barreras físicas, las cuales se ponen en un número tal que garanticen, sin riesgo indebido, el confinamiento de las sustancias radiactivas en ubicaciones sucesivas. Pero como en este principio se incluye el control del proceso, evidentemente el acto administrativo de la autorización de clausura puede considerarse como una de las *barreras administrativas* de seguridad nuclear, que toda instalación nuclear tiene. Por ello, y porque ya había *cultura de seguridad* en España, desde hacía algún tiempo, se puede decir que existía una cierta preocupación por la fase posterior a la explotación de las instalaciones nucleares y radiactivas. En la propia Ley de Creación

del CSN [2] consta explícitamente el acto administrativo que requería una autorización específica, concretamente una autorización de clausura.

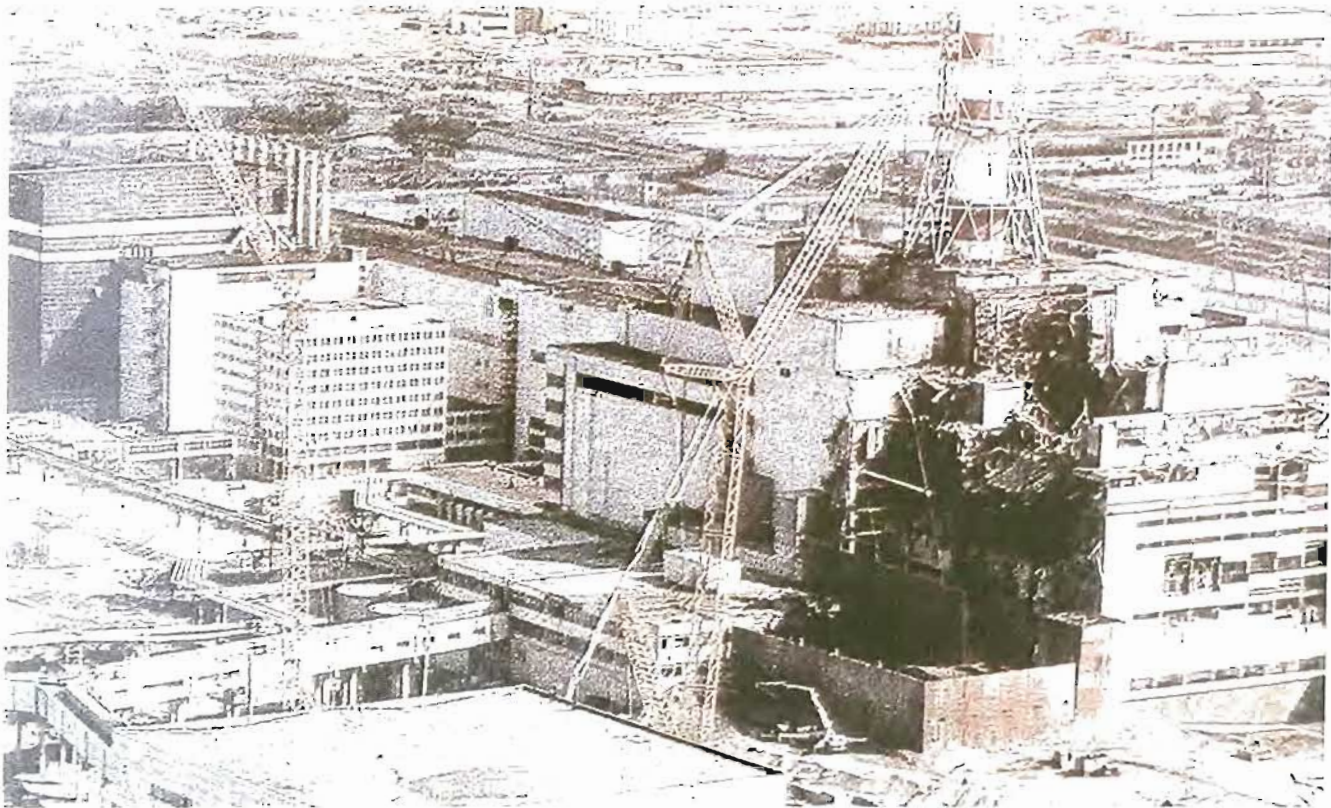
Desgraciadamente, como hasta la fecha no ha sido posible desarrollar con más precisión los principios generales dados en la ley, no existe una legislación concreta sobre el tema de la clausura de instalaciones nucleares y radiactivas, por lo que se hace necesario que caso a caso se estudie y se resuelva específicamente, es decir, *case by case*.

No obstante, en España se puede decir que el tema de la clausura de instalaciones nucleares y radiactivas está siendo objeto de preocupación desde hace varios lustros. Antes del año 1980, el organismo responsable del control e inspección de la seguridad nuclear y protección radiológica era la Junta de Energía Nuclear (JEN, hoy Ciemat), y más concretamente el Departamento de Seguridad Nuclear, el cual quiso siempre estar presente activamente en las reuniones internacionales que sobre *decommissioning* se anunciaban [3]. Dicho departamento dedicó parte de su

trabajo a actualizarse sobre la problemática de seguridad radiológica que las instalaciones nucleares podrían plantear en su clausura, y no sólo desde el punto de vista práctico, sino también desde el punto de vista de la regulación del acto administrativo [4].

En España, independientemente de los reactores experimentales y de investigación que están fuera de servicio, solamente puede citarse como central nucleoelectrónica en proceso de clausura la central nuclear Vandellós 1, la cual, pese a tener el permiso correspondiente para ser explotada hasta el año 2003, según la condición 12 del anexo del referido permiso, fue puesta fuera de servicio tras el incidente del 19 de octubre de 1989 y actualmente se debe considerar como en proceso de clausura. En su día, el CSN consideró que el incidente debilitó mucho los sistemas de seguridad nuclear existentes, y el titular prefirió dejar fuera de servicio el reactor antes que hacer el gasto que requería reparar la instalación en las condiciones impuestas por el CSN.

* Físico. Actualmente, como funcionario técnico del CSN, es coordinador de la normativa sobre seguridad nuclear con el OIEA.



► Figura 1. Vista general del estado final del reactor Chernóbil-4, tras el accidente nuclear del 28 de abril de 1986, y durante la construcción del *sarcófago nuclear* (Foto cedida por la Cátedra de Tecnología Nuclear de la ETSIIM).

2. La clausura y sus niveles de clausura

Se define la clausura de una instalación nuclear y radiactiva como el acto oficial a partir del cual se reconoce legalmente que esa instalación ha terminado su periodo de explotación [5].

La vida útil de cualquier industria siempre está subordinada a varios aspectos. En el caso concreto de las instalaciones nucleares, fundamentalmente son tres: la seguridad, el nivel tecnológico y la economía. Aunque las tres consideraciones están ligadas, siempre la causa prioritaria es la seguridad nuclear, pues este aspecto por sí solo puede requerir la clausura de una instalación nuclear relativamente nueva. Generalmente, se hacen trabajos de revisión, mejoras y actualización de los sistemas de seguridad que pueden alargar la vida de la central y, por consiguiente, su periodo de explotación. No obstante, llega un momento en que los gastos económicos son tan altos que se prefiere poner fuera de ser-

vicio la instalación y proceder a su clausura, máxime si no es imperativo legal el tener que llegar a la última frontera de la clausura (desmantelamiento). En tal momento, el titular debe solicitar autorización de clausura y, una vez concedida, el Consejo de Seguridad Nuclear deberá controlar y vigilar que todo el proceso de clausura se hace respetando el texto de la autorización, y los límites y condiciones de seguridad nuclear y protección radiológica impuestos en la misma.

Actualmente, no son muchos los reactores nucleares que están en proceso de clausura, pero se espera que en la primera década del siglo XXI se superará la cifra de 300 instalaciones nucleares a clausurar. Concretamente, según información de la OCDE, el equivalente a más de 200 reactores de 1.000 MWe requerirán su clausura entre los años 1996 y 2010.

Indudablemente, el problema del futuro de las instalaciones nucleares al final de su vida activa es actualidad. No es un problema to-

talmente nuevo; realmente hace ya varios años que en algunos países existen varias instalaciones que pueden considerarse clausuradas. Concretamente, en el apéndice 3 de la ponencia 32-02 del autor de este artículo, presentada en la XXI reunión anual de la Sociedad Nuclear Española, se facilita una relación de 115 reactores nucleares fuera de servicio y que se pueden considerar ya clausurados.

La clausura en la industria nuclear no ha sido objeto de programas de amplitud similar a la construcción y explotación de centrales nucleares o de instalaciones del ciclo del combustible, lo que hace que el coste de la clausura sea muy elevado y que aún les parezca mayor a los titulares si a los muchos gastos se le une el beneficio cero. Por eso, se considera muy acertada la decisión del Gobierno español cuando propuso, y el Parlamento aceptó, que para mayor garantía de la seguridad radiológica de la sociedad española había de crearse una empresa nacional (Enresa) que



► Figura 2. Vista aérea del reactor nuclear Shippingport, antes de iniciar y una vez finalizado el proceso de clausura. (NEA. París, 1992).

garantizase la realización de la clausura con la seguridad radiológica debida para las personas y el medio ambiente. A este fin, y de conformidad con lo establecido internacionalmente por el OIEA, se pueden considerar tres alternativas de clausura. Estas son:

— Nivel 1 de clausura: clausura bajo vigilancia (*mothballing*) o estado *safstor*, según la NRC. Independientemente de la denominación, una instalación nuclear está en nivel 1 de clausura, según el OIEA, cuando se ha retirado el combustible del núcleo, existe un control radiológico continuado y el acceso está regulado. Es estas condiciones están las experiencias y algunos de los llamados reactores nucleares comerciales, tales como Chinon-A1, Chinon A-2, TMI-2, SL-A1, SL-A2, etcétera.

— Nivel 2 de clausura: clausura por enterramiento (*entombing*) o estado *entomb*, según la NRC. Se dice que una instalación nuclear está a nivel 2 de clausura cuando se ha sacado el combustible del núcleo y la descontaminación ha sido tal que todos los materiales están por debajo del límite de exención y no se requiere un control radiológico continuado, pero sí uno aperiódico a decisión del organismo regulador correspondiente. Se pueden considerar clausurados a este nivel los reactores nucleares: Hallam, en Nebraska; Piqua, en Ohio; y, aunque no se ha extraído el combustible del núcleo por el accidente, sí se ha construido un *sarcófago*

nuclear, por lo que se puede considerar que el estado actual del reactor Chernóbil-4 es el de nivel 2 de clausura (figura 1).

— Nivel 3 de clausura: clausura por desmantelamiento (*dismantling*) o estado *decon*, según la NRC. Se considera que este nivel es la última frontera de la clausura¹ y es la más cara, puesto que supone dejar el emplazamiento en las condiciones que estaba antes de construirse la instalación nuclear; es decir, retirados todos los escombros procedentes de los desmantelamientos efectuados, todos los materiales radiactivos existentes y, en suma, retirado todo aquello que pudiera tener un nivel de radiactividad superior al fondo del lugar (figura 2). Responden a este nivel de clausura los reactores de Elk-River y Shippingport, en Estados Unidos, el de Niederadachb, en Alemania, y en un futuro, está programado que lo estén los reactores nucleares de Yankee-Rowd, Fort-St. Vrain, Shorehan-1, en Estados Unidos, y el de Vandellós I, en España. Todos ellos actualmente en proceso de clausura.

3. La clausura obligada

Las previsiones de cualquier programa nuclear no prevén lo accidental. A veces, la puesta fuera de servicio de una instalación nuclear es tan rápida que no es posible la

elaboración y presentación a la Administración de la solicitud de la autorización legal correspondiente. Generalmente, tiene lugar lo que se llama clausura obligada, y ésta normalmente es por una de las tres causas siguientes:

- Por imperativo legal.
- Por accidente nuclear.
- Por incidente, con gran deterioro de los sistemas de seguridad a juicio del organismo regulador correspondiente.

Evidentemente, existen políticas nacionales que pueden conducir a clausura obligada. Tal es el caso de Italia, donde el Parlamento, tras consultar al pueblo en el referéndum de noviembre del año 1987, decidió por imperativo legal la opción cero nuclear para toda actividad en las centrales nucleoelectricas en explotación, en construcción o en proyecto. Actualmente, todas las instalaciones nucleares están fuera de servicio, pero no disponen del permiso, licencia o autorización de clausura correspondiente.

En el caso de Suecia, también se puede decir que sus centrales nucleares están en clausura obligada por imperativo legal, pues por referéndum nacional el Gobierno decidió poner fuera de servicio todas las centrales nucleares del país de forma escalonada y siguiendo el llamado plan de clausura progresiva, el cual tiene como fecha máxima el año 2010.

Son casos típicos de clausura obligada por accidente nuclear los reactores TMI-2 y Chernóbil-4.

¹ En el nº 17 de Estratos se publicó un artículo titulado *El desmantelamiento de instalaciones nucleares, última frontera*.

En la madrugada del 28 de marzo de 1979, el reactor TMI-1 de 900 MWe tuvo un accidente. Esta unidad forma parte de la central nuclear de Three Mile Island y está cerca de Harrisburg (Pennsylvania) [6]. Pronto se vio que la gravedad del accidente superaba el accidente considerado como base de diseño.

El accidente se inició por un transitorio que dio lugar a pérdida de agua de alimentación de los generadores de vapor, y pese a estar considerado y analizado el transitorio en todos los informes de seguridad, se vio complicado por el fallo de la válvula de alivio del presionador y la desafortunada operación de parar la inyección de seguridad de alta presión.

Naturalmente, las consecuencias radiactivas fueron imperceptibles, pues la solidez con que se aplicó el concepto de seguridad a ultranza impidió que el edificio de contención permitiera la salida de los radionucleidos del núcleo. No obstante, el daño del núcleo fue muy importante, tanto como para considerar la parada accidental como última parada y, por consiguiente, de clausura obligada de la instalación. Lo que no se decidió entonces fue el acondicionamiento técnico que había de dársele, es decir, el nivel de clausura en el que había de quedar definitivamente. Esto, en realidad, no era necesario porque, además de continuar la instalación bajo control y vigilancia, está siendo una importante fuente de trabajos experimentales, en su mayoría obedeciendo a programas internacionales auspiciados por el Comité de Seguridad de Instalaciones Nucleares (CSIN) de la OCDE. En el lenguaje coloquial, los expertos en seguridad nuclear dicen que se está haciendo una buena autopsia del reactor nuclear.

El accidente del reactor de Chernóbil-4 el 28 de abril de 1986 fue una tragedia para la antigua URSS (hoy CEI), con grandes efectos radiológicos negativos y psíquicos en los países próximos. Incluso



Figura 3. Estado final de las dos turbinas de la central nuclear Vandellós I, tras el fuego ocurrido en una de ellas el 19 de octubre de 1989 (foto cedida por Hifrensa).

internacionalmente se incrementó el temor al uso pacífico de la energía nuclear y, como la ignorancia engendra temor, son más las personas que se hacen antinucleares.

El accidente de Chernóbil deterioró tanto la confianza del público y de los políticos en la energía nuclear que se hizo necesario, una vez más, demostrar que las centrales nucleares se pueden explotar sin riesgo indebido y justificar la credibilidad que la sociedad debe tener en los organismos reguladores. Para alcanzar la credibilidad que los organismos reguladores deben tener, éstos tienen que exigir a los operadores de instalaciones nucleares un mínimo de sus condiciones psíquico-técnicas, pues el accidente de Chernóbil se agravó por la mala actuación de los operadores al inhibir un sistema de seguridad [7], y además fue de un gran efecto social, sobre todo en países donde también tenían reactores nucleares del mismo tipo y con sistemas de seguridad similares.

Conocidos los hechos y los resultados de varios estudios relativos al accidente de Chernóbil, se puede concluir con el informe específico de la AEN, donde se dice que el nivel tecnológico era claramente inferior al de los reactores occidentales, pero que era suficien-

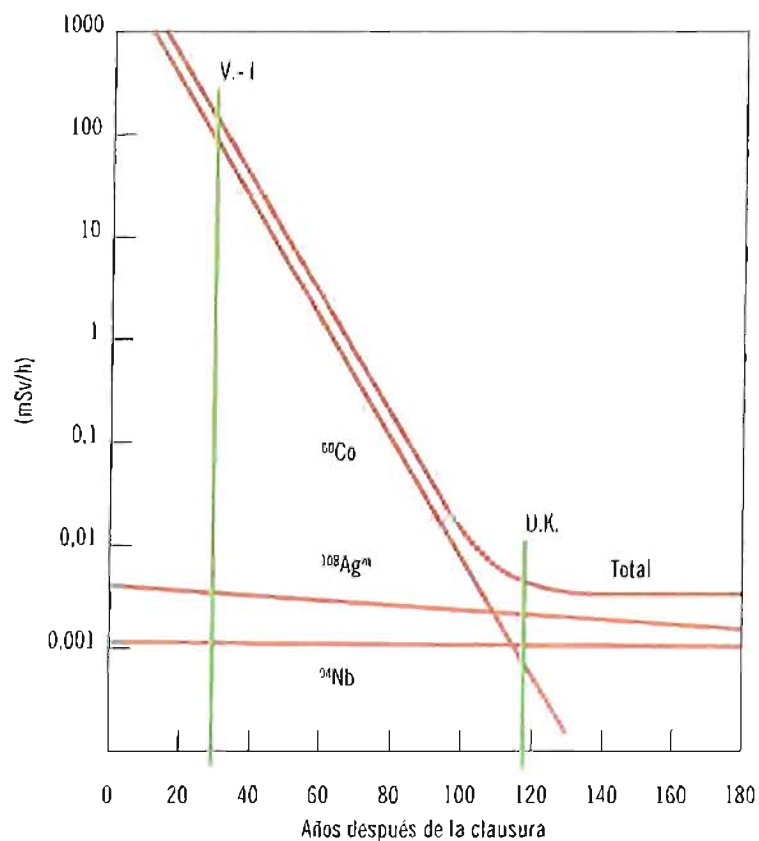
te para que no ocurriera un accidente tan grave si los operadores no hubiesen inhibido uno de los sistemas de seguridad.

Afortunadamente, hoy se puede decir que la nueva política respecto a los operadores de centrales nucleares y la cooperación internacional está aumentando el nivel de seguridad en los reactores nucleares del tipo RBMK y WER, proyectados y construidos por la antigua URSS.

Finalmente, y dentro de la clausura obligada por incidente, se ha de citar la central nuclear Vandellós I, pues como consecuencia del incidente de 1996 (figura 3) el CSN cursó un informe al Ministerio de Industria y Energía, quien a la vista del mismo publicó la Orden Ministerial del 31 de julio de 1990, por la que dejaba sin efecto la condición tercera del anexo del permiso de explotación y se instaba a Enresa a comenzar las actividades necesarias y a asumir toda la responsabilidad, lo que ha conllevado la transferencia de titularidad de Hifrensa a Enresa.

4. Conclusiones

— A todos los titulares con instalaciones nucleares les preocupa de forma especial cuándo termine su periodo de explotación y emiece



► Figura 4. Curva del decaimiento de la dosis de radiación total en función del tiempo. Estas curvas corresponden a un reactor tipo Magnox y el tiempo cero corresponde a la parada final (Technical Reports, del OIEA nº 375).

el proceso de clausura, pues sólo se visionan gastos muy grandes y ningún beneficio económico. En algunos países, el Gobierno exige una financiación previa en garantía de que el proceso de clausura se hará con los medios económicos suficientes. En otros países, el Gobierno se hace cargo de los trabajos que conlleva el proceso de clausura e, incluso, la titularidad debe pasar a una empresa nacional; concretamente en España, a Enresa.

— Como no siempre es necesario llegar a la última frontera de la clausura, cuando llega el acto administrativo correspondiente de la autorización de clausura, el organismo regulador puede conceder o, en su caso, proponer la concesión de la autorización para cualquiera de los tres niveles de clausura aceptados internacionalmente, pues ello debe ser garantía suficiente de seguridad nuclear y protección radiológica para que no tengan riesgos indebidos las

personas, ni los animales, ni el medio ambiente. Incluso cuando la clausura es obligada se puede garantizar el máximo de seguridad radiológica posible, pues si es necesario se activa el plan de emergencia, el cual minimiza los posibles efectos radiológicos. Lo realmente importante es hacer todo el proceso de clausura con el grado de calidad necesaria [8], y una vez evaluado el riesgo que conlleva todo el proceso de clausura [9].

— Cuando lo requiera la Administración, el propietario del emplazamiento lo desee o se quiera poner otro tipo de industria en el mismo emplazamiento, y aunque el gasto haya de ser mucho mayor, el titular debe hacer el nivel 3 de clausura (desmantelamiento) y así dejar el emplazamiento en estado *decon*, que es sin limitación alguna. En la figura 2 se reproduce una foto facilitada por la AEN y que se ha considerado muy oportuno introducir en este artículo.

— Como conclusión final, se ha de decir que desde la creación del CSN la autorización de clausura se puede considerar como una las barreras administrativas de seguridad nuclear por ley, pues así como las barreras físicas tienen por objeto principal mantener las sustancias radiactivas confinadas en condiciones seguras, los requerimientos administrativos garantizan al máximo posible el *buen hacer* del titular con su instalación nuclear o radiactiva. ☼

Referencias

- [1] *Principios Básicos de Seguridad Nuclear para Centrales Nucleares*. INSAG-3. IAEA. 1989.
- [2] Ley 15/1980 de Creación del CSN. BOE nº 100.
- [3] Inter. Symp. on Decommissioning of Nuclear Facilities. SM-234-28. IAEA. 1978.
- [4] Perelló M. *Decommissioning Licensing Procedure*. Regulatory Review in the Licensing Process (CSNI). Specialists Meeting. Madrid, 1979 (INIS-inf-57120. Vienna, 1979).
- [5] Perelló M. *Seguridad en la clausura de una central nuclear*. Rev. Energía Nuclear de la JEN. Tomo 21 nº 109. Madrid, 1979.
- [6] Buragüño J.L. et al. *Informe sobre el accidente nuclear TMI-2*. DSN/5/79. JEN, 1979.
- [7] Alonso A. y Martínez del Val J.M. *Características intrínsecas del accidente de Chernóbil*. Rev. Nuclear Española de la SNE, nº 46. Sept. 1986.
- [8] IAEA. *Quality Assurance in Decommissioning*. A Safety Guide of Safety Series: 50-SG-Q7. Vienna, 1995.
- [9] EUR-16919. *Development of Decommissioning Safety Data*. EC-ISBN1018-5593. Luxemburgo, 1996.

Radiocarcinogénesis: dos nuevas aproximaciones experimentales

Para estimar con mayor precisión los riesgos de las dosis bajas de radiaciones ionizantes se requiere un mejor conocimiento de los mecanismos de oncogénesis radioinducida y de reparación del ADN. Los dos

proyectos descritos en este artículo (fruto de sendos acuerdos de investigación entre el CSN y el Ciemat) abordan estas cuestiones utilizando animales genéticamente modificados.

1. Introducción

El posible incremento de riesgo de cáncer derivado de la exposición a dosis moderadas y bajas de radiación ionizante es, sin duda, uno de los problemas más relevantes en el ámbito de la protección radiológica. En este sentido, a pesar del gran esfuerzo realizado en las últimas décadas, en la actualidad siguen existiendo grandes incertidumbres en cuanto al riesgo de cáncer inducido por dosis moderadas y bajas de radiación.

Bajo el término de cáncer se agrupan más de 100 formas de enfermedad. Casi todos los tejidos del cuerpo pueden llegar a desarrollar un estado maligno y, en algunos casos, hasta varios tipos distintos. Aunque cada cáncer tiene ca-

racterísticas únicas, los procesos básicos que los originan son muy similares.

Hoy se sabe que el cáncer es el resultado de alteraciones ocurridas en procesos que habitualmente controlan el crecimiento y diferenciación de nuestras células, de modo que algunas de ellas se multiplican de forma indebida, invaden el espacio destinado a otras células u órganos y, finalmente, se diseminan por el organismo. De esta forma se establecen nuevos puntos de crecimiento celular incontrolado en otros alejados de aquél donde se inició todo el proceso, denominados metástasis.

Sabemos ya que las células de un tumor descienden de una célula ancestral común que, en algún momento, generalmente décadas antes de que el tumor se manifieste, inició un programa de reproducción indebido. Hay muchos indicios que conducen a pensar que para el desarrollo de un tumor deben ocurrir mutaciones en media docena o más de genes que controlan el crecimiento de las células fundado-

ras del tumor, de manera que las células tumorales se modifican a medida que se multiplican, dando lugar a células que poseen una ventaja selectiva.

Para la transformación maligna de una célula se producen por lo tanto acumulación de mutaciones en unos genes específicos, que son claves para entender las raíces del cáncer. Estos genes, que en su conjunto constituyen sólo una pequeña proporción de toda la dotación génica del individuo, en sus versiones normales controlan el ciclo de vida de la célula, esto es, la compleja secuencia de eventos que hacen que una célula crezca y se divida, por lo que son necesarios para el normal funcionamiento del organismo. Hay dos tipos de genes importantes en carcinogénesis: los protooncogenes, que activan el crecimiento, y los genes supresores de tumores, que lo inhiben. Considerados en su conjunto, estos dos tipos de genes son responsables, en buena medida, de la proliferación celular incontrolada que se observa en los tumores. Cuando

* M.A. Díez es licenciada en Medicina y técnico del CSN. A. Real y R. de Vidania son licenciadas en Ciencias Biológicas y trabajan en el Ciemat. C. Bauluz es licenciada en Ciencias Químicas y trabaja en el Ciemat. El artículo corresponde a proyectos recogidos en el *Plan quinquenal de investigación* (1997-2001) del CSN.

mutan, los protooncogenes pueden convertirse en oncogenes carcinogénicos capaces de dirigir una multiplicación desenfrenada. Los genes supresores de tumores, por el contrario, contribuyen al cáncer cuando las mutaciones los silencian.

Existen varias aproximaciones para adquirir conocimientos en el campo de la carcinogénesis, cada una de las cuales tiene obviamente sus limitaciones: la irradiación de cultivos celulares; estudios en animales de experimentación; estudios epidemiológicos de poblaciones expuestas. Los tres se complementan, de forma que, en el ámbito de la protección radiológica, la información que se obtenga sobre los mecanismos a nivel celular y molecular de oncogénesis radioinducida y reparación de ADN tendrá que integrarse con los resultados de estudios epidemiológicos y otros datos obtenidos en sistemas experimentales. El objetivo es proporcionar un marco para el desarrollo de modelos de valoración cuantitativa del riesgo carcinogénico en humanos, que tengan una base biológica firme.

El interés por profundizar en el conocimiento sobre estos aspectos queda recogido en las líneas de investigación promovidas por el IV y V Programa Marco de Euratom de la Unión Europea. En el apartado de protección radiológica y salud en el IV Programa Marco (vigente cuando se realizaron los proyectos que se van a describir) se proponía investigar entre otros puntos en:

- Modelización de la oncogénesis radioinducida y de los efectos biológicos conexos.

- Reparación y recuperación de los daños sufridos por el ADN y de la sensibilidad somática a las radiaciones.

- Estudios a nivel molecular de la oncogénesis radioinducida y de la predisposición al cáncer. Dentro de este apartado se cita: resolución de la base genética y mo-

lecular de la predisposición a la oncogénesis radioinducida utilizando animales genéticamente manipulados adecuados (transgénicos y ratones genéticamente deficientes) y variaciones naturales o inducidas en cepas animales (ratas y ratones).

Siguiendo las líneas de investigación propuestas por la Unión Europea, y teniendo en común las recientes técnicas que utilizan animales manipulados genéticamente, se iniciaron en el Ciemat, con financiación parcial del CSN mediante los acuerdos correspondientes, dos proyectos que se describen a continuación. Estos proyectos están recogidos en el *Plan quinquenal de investigación (1997-2001)* publicado por el CSN, en el apartado 2, correspondiente a *Protección radiológica* y dentro de éste, en el punto 2.1 *Fundamentos biológicos de la protección radiológica* (página 79).

En el V Programa Marco de Euratom se da continuidad a estos temas en el apartado de investigación en protección radiológica y salud.

2. Anomalías hematológicas irreversibles debidas a bajas dosis de radiaciones ionizantes

El título completo del proyecto llevado a cabo en el Ciemat ha sido *Estudio de los mecanismos carcinogénicos implicados en el desarrollo de anomalías hematológicas irreversibles tras la exposición a dosis bajas de radiación*. El gen supresor de tumores p53 (mutado en más del 50% de los cánceres) actúa controlando la integridad del genoma de la célula. Si el ADN es dañado bien por irradiación o por exposición a productos químicos, la célula sobreexpresa (es decir, sintetiza mucha mayor cantidad) la proteína p53, la cual provoca una parada del ciclo celular en la fase G1. Esta parada facilita que actúen los mecanismos de reparación, eliminando el daño. En caso de que no se re-

pare el daño se induce la muerte de la célula (apoptosis o muerte programada). En situaciones en las que el gen p53 esté inactivo, no se paran las células en fase G1, dificultándose la reparación del daño del ADN. Además, la ausencia de p53 funcional impide que las células mueran por apoptosis, acumulándose en el organismo células con daño genético, lo que favorece el desarrollo de cáncer.

Como ya se ha mencionado, el desarrollo de nuevas técnicas de biología molecular y celular ha permitido que en los últimos años se hayan diseñado diversos modelos experimentales de ratones transgénicos para genes relevantes en el control de la proliferación y diferenciación celular. Éstos ofrecen diversas ventajas frente a las aproximaciones clásicas para el estudio del efecto carcinogénico de dosis bajas de radiación y de los mecanismos de oncogénesis radioinducida. Éste es el caso de los ratones deficientes en el gen supresor de tumores p53, los cuales muestran una elevada sensibilidad al desarrollo de cánceres radioinducidos, principalmente de origen hematológico.

Por ello, para realizar este proyecto se ha utilizado un modelo experimental de ratones con el gen supresor de tumores p53 alterado, con el objetivo general de profundizar en el conocimiento de los mecanismos celulares y moleculares implicados en los procesos de oncogénesis hematológica radioinducida.

2.1. Aproximación experimental

Los estudios *in vivo* se han realizado siempre en paralelo en ratones con p53 alterado y ratones normales para este gen. La fuente de radiación ionizante utilizada ha sido rayos X, habiéndose ensayado distintas dosis y pautas de irradiación. En concreto: irradiación aguda de cuerpo entero con dosis moderadas y altas (1 y 4 Gy) e irradiación fraccionada con 5 do-

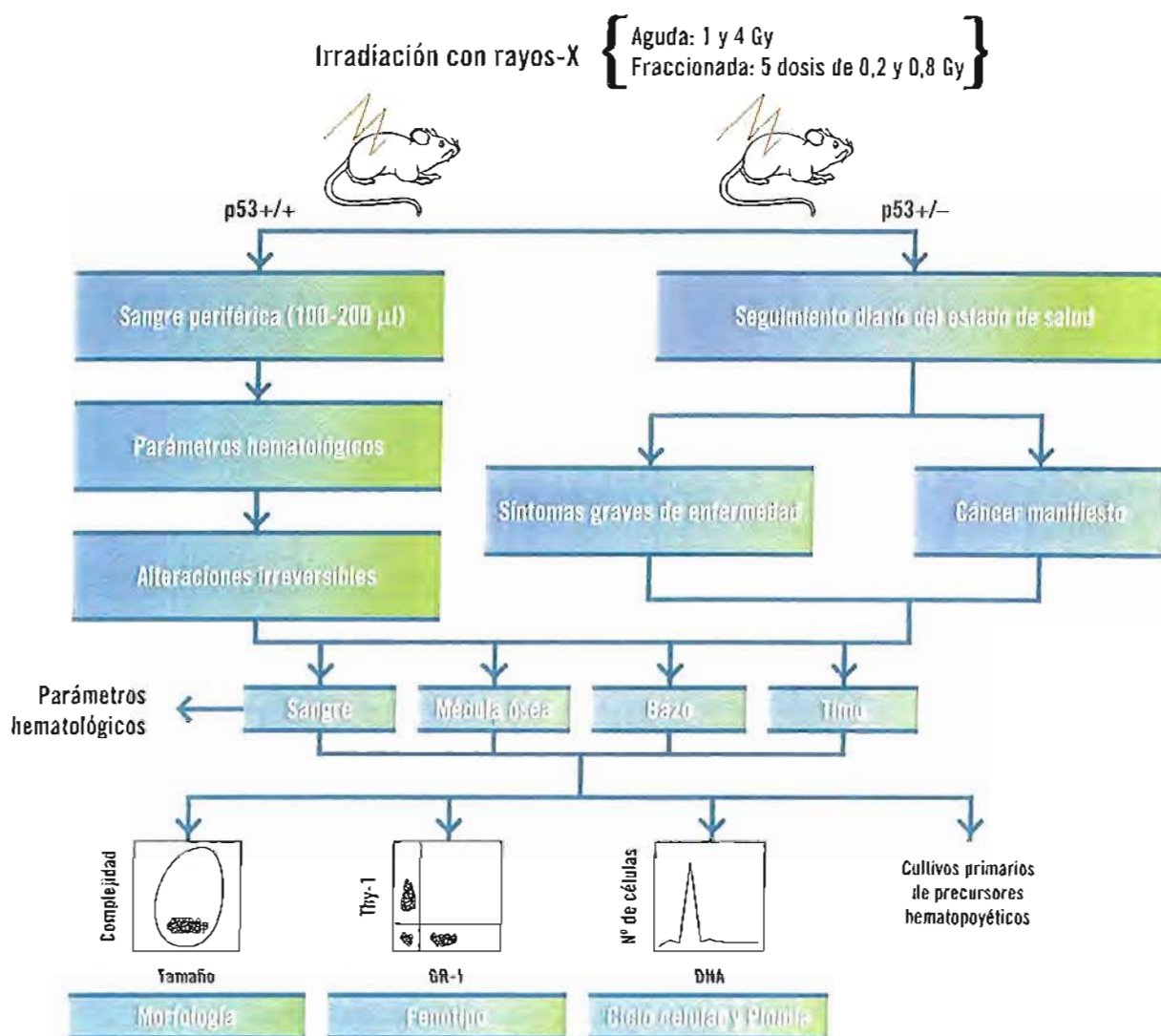


Figura 1. Aproximación experimental para el estudio de incidencia de cáncer y periodos de latencia, y análisis de alteraciones celulares presentes en tejidos hematopoyéticos de animales con cáncer manifiesto o síntomas graves de enfermedad.

sis de 0,2 y 0,8 Gy, administradas en días consecutivos.

En cada uno de los grupos de ratones sometidos a los protocolos de irradiación correspondientes se realizó un seguimiento diario del estado de salud general de los animales y, mensualmente, se les hizo un análisis de sangre para determinar su estado hematológico. Asimismo, se realizó un registro de incidencia de cáncer y de mortalidad en los distintos grupos. Los animales que desarrollaban cáncer o presentaban síntomas graves de enfermedad eran sacrificados, extrayéndoles los

órganos hematopoyéticos (sangre periférica, médula ósea, bazo y timo) para su posterior análisis (figura 1).

Para el estudio de alteraciones celulares potencialmente asociadas al desarrollo de cáncer, se utilizaron técnicas de citometría de flujo, mediante las que se analizaron parámetros relacionados con la morfolología, el fenotipo y contenido en ADN de las células. Adicionalmente, se realizaron cultivos primarios de precursores hematopoyéticos comprometidos, con objeto de determinar cambios cuantitativos en dichas poblaciones.

2.2. Resultados

Los primeros estudios realizados en el modelo experimental *in vivo* fueron dirigidos a caracterizar el efecto de la exposición a radiación sobre la incidencia de cáncer, en función de la expresión de p53. Los animales p53-/- mostraron (tal como aparece descrito en la literatura científica) una alta incidencia de cáncer con periodos de latencia cortos (1-3 meses), no dependiendo la incidencia de cáncer de que los animales hubieran sido expuestos a radiación o no. Estos resultados indicaban que los ratones homocigotos para la mutación

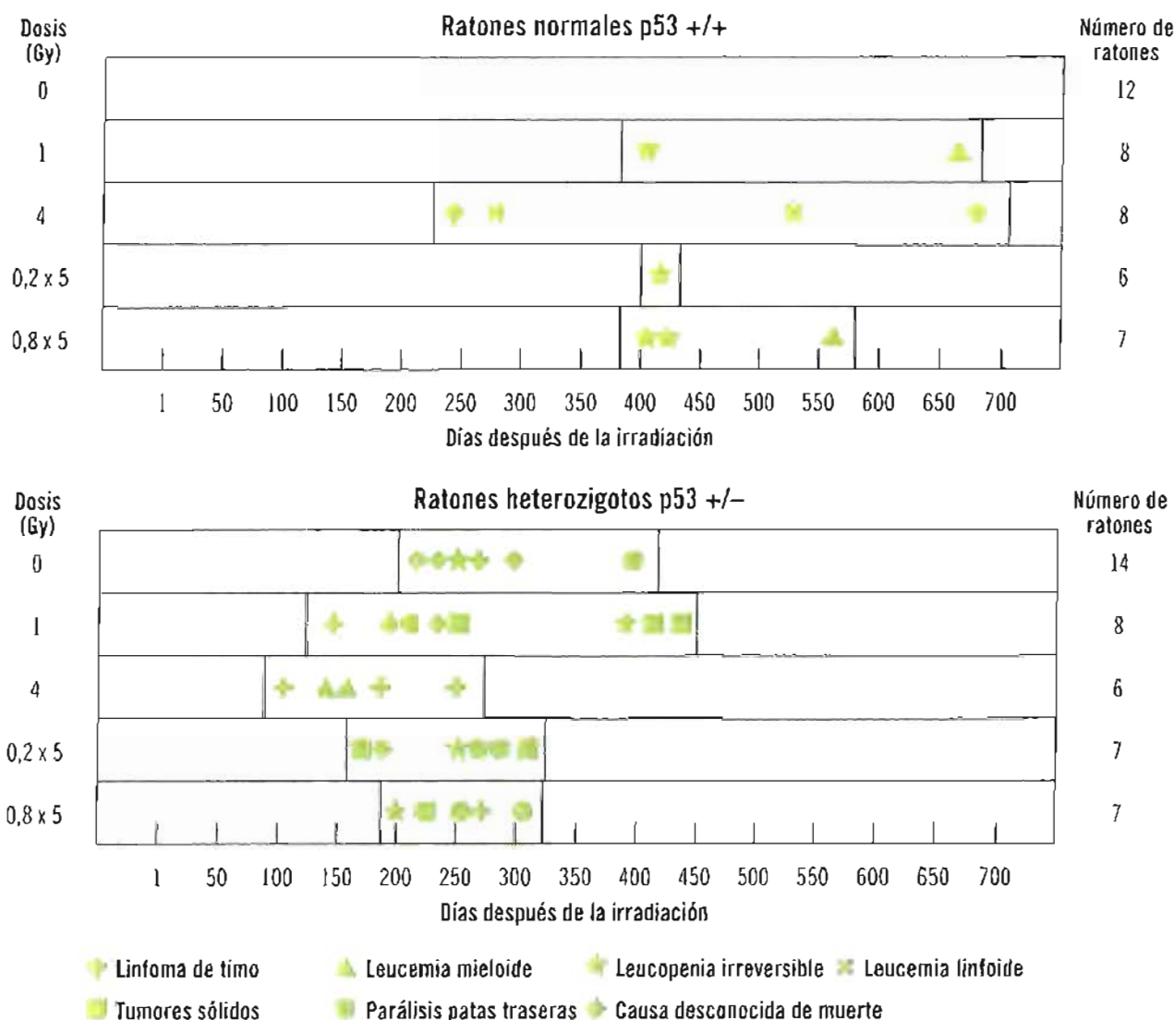


Figura 2. Efecto de la exposición a distintas dosis y pautas de irradiación en la incidencia de cáncer y patologías severas, en ratones p53+/+ y p53+/-.

en p53 no constituyan un modelo experimental adecuado para alcanzar los objetivos propuestos.

En contrapartida, estos primeros estudios realizados *in vivo* pusieron de manifiesto que los ratones p53+/-, si bien mostraban una mayor incidencia de cáncer que los animales control, dicha incidencia estaba aumentada en animales sometidos a irradiación aguda con dosis moderadas y altas de rayos X (1 y 4 Gy). Además, los cánceres desarrollados en estos animales eran en su mayoría de origen hematológico.

Por tanto, los ratones p53+/- parecían ser un modelo adecuado para el estudio de los efectos carci-

nogénicos producidos por la exposición a radiación en el sistema hematopoyético. Adicionalmente, el modelo p53+/- representa una situación más próxima a la normal (p53+/+). También es un aspecto interesante el hecho de que los ratones p53+/- son un modelo representativo del síndrome humano de Li-Fraumeni.

Utilizando, por tanto, el modelo de ratones p53+/- se realizaron estudios *in vivo* para caracterizar la influencia de la dosis y pauta de irradiación en la incidencia de cáncer y periodos de latencia asociados. Los órganos hematopoyéticos de los animales que desarrollaron cáncer fueron analizados en detalle

en cuanto a posibles alteraciones celulares. En estos estudios se planteó el análisis de un número amplio de parámetros celulares en cada uno de los tejidos con objeto de obtener amplia información sobre las potenciales alteraciones implicadas en el desarrollo carcinogénico, intentando identificar cambios específicos en función del tipo de cáncer desarrollado. Posteriormente, con la información obtenida en dichos estudios, se determinaría si algunos de los parámetros alterados en animales con cáncer podrían constituir indicadores tempranos del proceso carcinogénico, permitiéndonos detectar estados pre-neoplásicos en el animal.

Los estudios sobre el efecto de la dosis y pauta de dosis de radiación en la incidencia de cáncer y periodos de latencia mostraron que los ratones normales para p53 no irradiados no desarrollaron cáncer en los dos años de seguimiento, resultado que era de esperar en base a los datos de la bibliografía. La exposición a dosis agudas o fraccionadas de 1 y 4 Gy indujo el desarrollo de cáncer en ratones p53+/. La incidencia observada fue de uno de cada ocho animales tras irradiación con 1 Gy, y de dos de cada ocho animales expuestos a 4 Gy (figura 2).

Los animales heterocigotos para la mutación en p53 mostraron una mayor incidencia de cáncer respecto a los de control en todas las condiciones estudiadas. Así, dos de los catorce ratones p53+/- no irradiados desarrollaron cáncer. La exposición a radiación de estos animales hizo que prácticamente el 100% desarrollara cáncer, independientemente de la dosis y pauta de irradiación utilizadas (figura 2).

Si se observaron, sin embargo, diferencias en los periodos de latencia en relación con la dosis y pauta de radiación utilizada. Así, la exposición aguda con dosis moderadas (1 Gy), o fraccionada con dosis moderadas y altas (0,2 Gy x 5 y 0,8 Gy x 5), no produjo un descenso significativo en el periodo de latencia medio observado respecto al de animales control (incluyendo todos los tipos de cáncer). Los animales sometidos a irradiación aguda de 4 Gy mostraron una reducción significativa en los periodos medios de latencia (173 ± 28 días, respecto a 399 ± 37 días en los p53+/- no irradiados).

En los animales con cáncer o síntomas graves de enfermedad se realizó un análisis de alteraciones celulares en sus diferentes órganos hematopoyéticos (sangre periférica, médula ósea, bazo y timo) (figura 1).

La utilización de técnicas de citometría de flujo ha permitido caracterizar, además de cambios cualitativos y cuantitativos en las poblaciones hematopoyéticas potencialmente implicadas en el desarrollo de cáncer, posibles alteraciones en procesos celulares importantes para mantener la homeostasis de los tejidos, como por ejemplo el estado proliferativo o la inestabilidad genética y la importancia de dichos parámetros en el desarrollo carcinogénico.

En relación con los estudios dirigidos a caracterizar indicadores tempranos del proceso carcinogénico, se han podido identificar algunos parámetros de sangre periférica que parecen representar indicadores tempranos de desarrollo de leucemia. En aquellos animales que acabaron desarrollando leucemia mieloide tras la irradiación, los análisis de seguimiento realizados mensualmente en sangre periférica permitieron detectar valores anormalmente altos de leucocitos, junto con una descompensación en la proporción de neutrófilos y linfocitos respecto a los controles. Dichas alteraciones fueron detectadas 2-4 meses antes de que el animal tuviera que ser sacrificado por mostrar síntomas graves de enfermedad debido a la leucemia desarrollada.

2.3. Conclusiones del proyecto

Globalmente, los resultados obtenidos en este proyecto ponen de manifiesto que el modelo experimental de ratones heterocigotos para la mutación en el gen p53 ha mostrado ser de utilidad para profundizar en el conocimiento de los efectos carcinogénicos de la radiación ionizante sobre el sistema hematopoyético, al mostrar una elevada susceptibilidad a desarrollar cáncer radioinducido, con periodos de latencia considerablemente menores a los requeridos en ratones normales para p53.

La aplicación de técnicas de citometría de flujo ofrece grandes posibilidades para la caracteriza-

ción de alteraciones cualitativas y cuantitativas en las poblaciones celulares afectadas en el proceso carcinogénico, así como para el estudio de alteraciones en procesos celulares importantes para mantener la homeostasis de los tejidos como son el estado proliferativo o la inestabilidad genética y la importancia de dichos procesos en el desarrollo carcinogénico.

Los estudios de fenotipo celular no sólo han permitido caracterizar las poblaciones afectadas en los diferentes tipos de cáncer hematológico, sino que también han sido de gran utilidad para el diagnóstico de determinados cánceres. En este sentido, actualmente se está planteando en oncología clínica el uso de técnicas de citometría de flujo como alternativa a las técnicas clásicas de histopatología a la hora de diagnosticar cánceres hematológicos.

Finalmente, se han identificado parámetros de sangre periférica adecuados para ser utilizados como indicadores tempranos del proceso carcinogénico; en concreto, de leucemias mieloides. Estos resultados podrían ser de utilidad en el estudio del riesgo carcinogénico asociado con la exposición a dosis bajas de radiación, al permitir detectar estados pre-neoplásicos en los animales, previos al desarrollo manifiesto del cáncer.

3. Mecanismos de reparación del ADN y riesgo carcinogénico a dosis bajas

El título completo del proyecto llevado a cabo en el Ciemat ha sido *Implicación de los mecanismos de reparación del ADN en la estimación del riesgo carcinogénico a dosis bajas de radiación*. El objetivo del proyecto ha sido profundizar en el conocimiento del papel desempeñado por los mecanismos de reparación del ADN en la mutagénesis inducida por radiaciones ionizantes. En particular, pretende establecer si, en función de la dosis recibida, existen diferencias de ac-

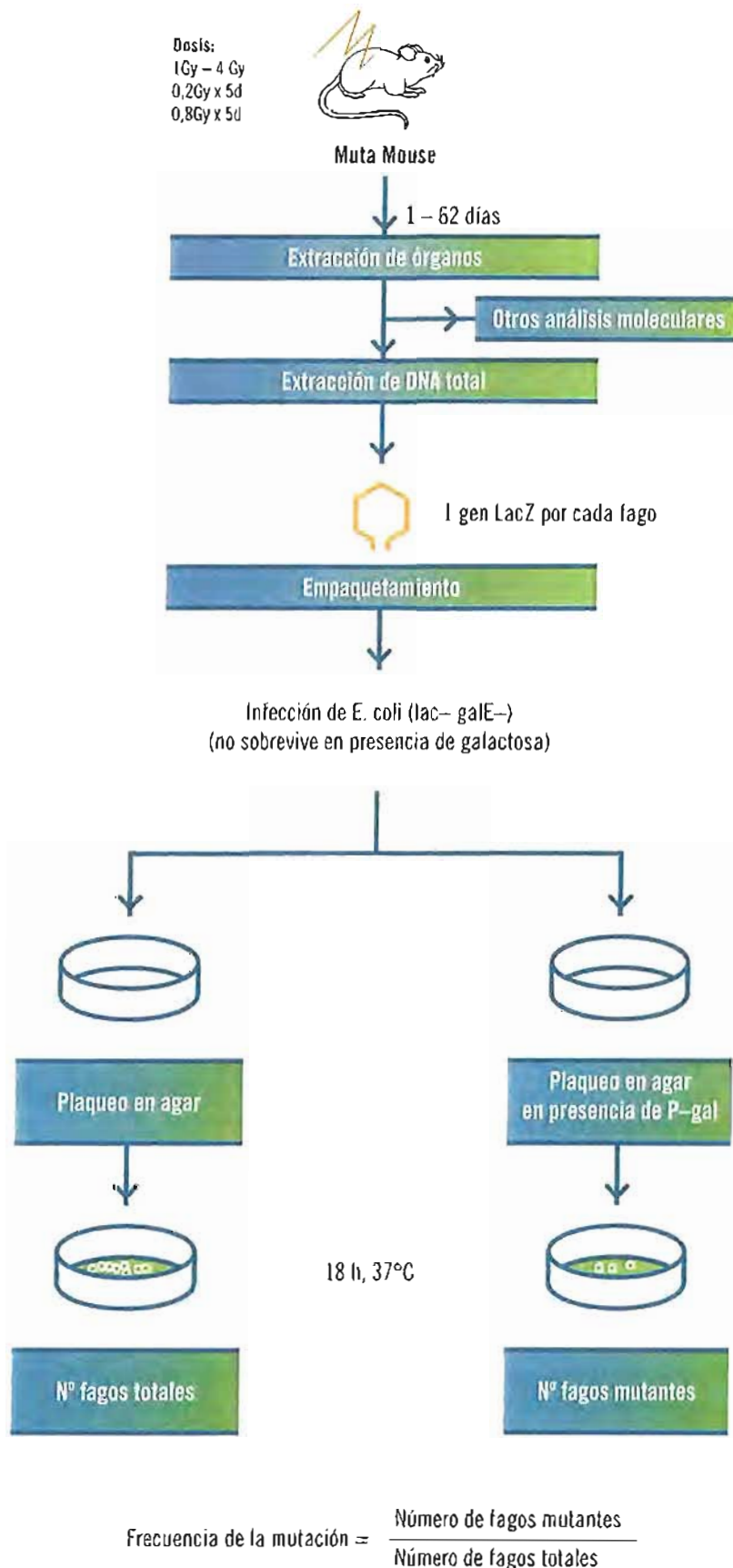


Figura 3. Aproximación experimental para la determinación de la frecuencia de mutaciones en el modelo *muta mouse*.

tividad de dichos mecanismos que deban ser incorporadas entre los datos a tener en cuenta para la estimación del riesgo carcinogénico por extrapolación a dosis bajas.

Para el logro del objetivo, el proyecto se ha organizado en varios bloques de trabajo:

- Experimentación *in vitro*.
- Efecto mutagénico de la irradiación *in vivo*.

— Estudios moleculares de la expresión de genes relacionados con el desarrollo de cáncer.

— A estas fases previstas inicialmente se añadió después una fase de evaluación de la posible relación entre mutagénesis y carcinogénesis.

3.1. Conceptos básicos para el planteamiento del proyecto

Las radiaciones ionizantes (y otros agentes) al interaccionar con la materia viva pueden producir mutaciones, ya sea por una acción directa con el ADN del núcleo o bien indirectamente a través de moléculas reactivas que se producen en el citoplasma y que, a su vez, son capaces de dañar el ADN. En ambos casos, las alteraciones en la información genética constituirían (si no son reparadas) el inicio de la cadena de eventos que puede terminar en el desarrollo de un cáncer. Puesto que todos los seres vivos estamos expuestos de manera natural y continua a agresión por distintas causas, los organismos han evolucionado de modo que disponen de un conjunto de sistemas que les permiten hacer frente a los daños ocurridos. Estos sistemas son los llamados *mecanismos de reparación del ADN*, siendo más complejos cuanto más evolucionado es el organismo de que se trate, pero existiendo una fuerte similitud en su funcionamiento general así como en muchas de las proteínas que lo componen.

Existe una clara y estrecha relación entre la producción de mutaciones y la aparición de cáncer, y es por esto por lo que el primer ensa-

yo que se realiza para determinar si un producto puede ser carcinogénico consiste en medir su capacidad para producir mutaciones.

Una aproximación reciente al estudio de mutagénesis *in vivo* aprovecha la nueva capacidad de generación de ratones transgénicos. Así, se han desarrollado modelos animales incorporando en el genoma natural de un ratón un gen marcador, que no afecta para nada a la fisiología del animal y que puede ser fácilmente identificado del resto de genes, para su análisis en el laboratorio. Estos modelos proporcionan una forma más directa de conocer el proceso de mutagénesis en el organismo completo, puesto que se extrae directamente el ADN total de las células sin necesidad de más manipulaciones que la propia extracción del órgano a estudiar, y se analiza en él la presencia de alteraciones en el gen marcador (figura 3). Además, estos modelos animales ofrecen la ventaja añadida de poder realizar simultáneamente otros análisis moleculares, de forma que se ha estudiado si las condiciones de irradiación utilizadas afectan de algún modo al nivel de expresión de genes relacionados con el desarrollo de cáncer, en particular, genes de reparación de ADN así como oncogenes.

En este proyecto se ha trabajado con el ratón transgénico denominado *muta mouse*, que tiene un marcador *ajeno* (transgen), denominado *lacZ*, incorporado en el genoma de todas sus células, de forma que se ha analizado el efecto mutagénico producido sobre el gen marcador por diferentes dosis de exposición a radiación ionizante (rayos X).

3.2. Resultados

Se han llevado a cabo cuatro bloques diferentes de experimentación, que han proporcionado información complementaria respecto a la importancia de la aparición de mutaciones radioinducidas en el proceso tumoral.

En el primer bloque de trabajo se ha abordado la utilidad de un sistema experimental concreto para estudiar la capacidad de la radiación en cuanto a la producción de mutaciones *in vitro*, con objeto de realizar una comparación respecto al efecto de la radiación *in vivo*. En las condiciones empleadas, no se produjo un incremento aparente de mutaciones aun administrando dosis altas de radiación (4 Gy), lo que se ha atribuido a la necesidad de que se cumpla, al menos, un ciclo celular completo para que pueda manifestarse el efecto mutagénico de la radiación. Por consiguiente, se puede concluir que el sistema experimental utilizado no constituye una alternativa adecuada a la experimentación *in vivo*.

En el segundo bloque de trabajo se ha abordado la capacidad mutagénica de la radiación en el organismo vivo bajo diferentes condiciones de exposición, analizándose diferentes órganos de los animales a lo largo de un tiempo considerablemente largo con respecto a la vida del ratón. El resultado más destacable de este bloque de trabajo es la baja mutagenicidad determinada bajo cualquiera de las circunstancias analizadas. Si bien no se puede descartar por completo que éste sea un efecto debido al particular sistema experimental utilizado, la interpretación que se ha dado a estos resultados consiste en que el organismo completo consigue una muy buena eliminación de las lesiones producidas en el ADN por la radiación, que probablemente se debe tanto a los mecanismos de reparación del ADN propiamente dichos como a mecanismos fisiológicos de eliminación de células dañadas, posiblemente apoptosis.

En el tercer bloque de trabajo se ha analizado, a lo largo del tiempo después de la irradiación *in vivo*, la expresión de algunos genes relacionados con el proceso del cáncer. En los órganos analizados no se han observado cambios en las bandas de hibridación de dichos genes

respecto a lo que corresponde a tejidos de ratones no irradiados, por lo que se concluye que, en estas condiciones, la radiación no ha dado lugar a alteraciones importantes en los niveles de expresión de estos genes concretos. Naturalmente, es posible que otras vías de crecimiento celular, no representadas por los genes estudiados, pudieran estar activadas, aunque con los resultados obtenidos los investigadores piensan que en el periodo de dos meses posteriores a la irradiación no parece probable que hayan ocurrido alteraciones permanentes en los niveles de los llamados genes del cáncer.

Finalmente, se ha realizado una aproximación a la determinación de carcinogénesis por radiación en este sistema experimental, aunque obviamente no ha sido posible abarcar este estudio desde el punto de vista estadístico. Los resultados obtenidos indican que al cabo de aproximadamente nueve meses de recibir irradiación los animales genéticamente normales, que disponen de los mecanismos fisiológicos necesarios para hacer frente a las agresiones externas, no desarrollan tumores, haciendo falta un periodo de tiempo cercano a la vida media del animal para que el incremento de tumores por radiación se ponga de manifiesto.

3.3. Conclusiones del proyecto

En conjunto, los resultados obtenidos indican que, en el sistema experimental utilizado, las lesiones producidas por la radiación en el ADN parecen eliminarse casi completamente del organismo vivo y por tanto que, *in vivo*, la radiación es poco mutagénica comparada con la capacidad que demuestra en la producción de tumores en los animales irradiados. Por consiguiente, la aparición de tumores radioinducidos ha de deberse a una porción residual de alteraciones genéticas no detectadas o a la aparición de otros efectos, no directamente relacionados con lo que en-

tendemos por mutaciones permanentes, sino mas bien con modificaciones *circunstanciales*, que podrían implicar o no la estructura del ADN, pero que repercutirían en la regulación de la expresión de otras moléculas que favorecerían el crecimiento celular. Estas alteraciones no permanentes, con el paso del tiempo favorecerían a su vez la posibilidad de nuevas alteraciones tanto por causas endógenas como exógenas, hasta que finalmente ocurriera un cambio permanente en el comportamiento celular. Sería entonces, al cabo de mucho tiempo, cuando el tumor podría empezar su desarrollo.

Para ayudar a confirmar estas hipótesis habría que constatar la

baja mutagenicidad de la radiación observada en este trabajo, utilizando un sistema experimental alternativo de mutagénesis *in vivo*. Así se descartaría la posibilidad de que se tratara de un artefacto inherente al sistema empleado.

Por otro lado, sería necesario diseccionar en lo posible los mecanismos de reparación del ADN (y complementariamente otros mecanismos, como la apoptosis, presuntamente implicados en la eliminación de las células dañadas por la radiación) para investigar el papel específico de los procesos de corrección sin error en la reparación de las lesiones producidas por radiación.

4. Conclusión final

El resultado general de estos proyectos ha sido la adquisición de conocimientos del comportamiento biológico después de la irradiación con dosis moderadas o altas de rayos X, utilizando para ello nuevos modelos obtenidos por manipulación genética como son los ratones con alteraciones en el gen supresor de tumores p53 o los ratones transgénicos del modelo denominado *muta-mouse*, con lo cual se incorporan al campo de la experimentación en radiobiología los avances acaecidos en la tecnología de manipulación genética de seres vivos, que a la larga pueden dar muy buenos resultados en nuestro conocimiento de los mecanismos de oncogénesis radioinducida. 

Referencias

- International Commission on Radiation Protection (1990). *Recommendations of the ICRP*. Publicación 60.
- Sancar A. (1995) *DNA repair in Humans*. Ann. Rev. Genetics 29 69-105.
- Trosko J.E. (1996). *Role of low-level ionizing radiation in multistep carcinogenic process*. Health Physics 70, 812-822.
- UNSCEAR (1993). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and effects of ionizing radiation*. UNSCEAR 1993 Report to the UN General Assembly, with annexes. United Nations, New York.
- UNSCEAR (1995). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *DNA repair and mutagenesis*. Report of the 44th Session of UNSCEAR. Vienna.
- Tubiana M. (1998). *The report of the French Academy of Science: Problems associated with the effects of low doses of ionizing radiation*. J. Radiol. Prot. Vol. 18 No 4.
- Cox R. (1994). *Molecular mechanisms of radiation oncogenesis*. Int. J. Rad. Biol. 65: 57-64.
- Donchower L.A., Harvey M., Slagle B.L., McArthur M.J., Montgomery C.A., Butel J.S., Bradley A. (1992). *Mice deficient for p53 are developmentally normal but susceptible to spontaneous tumours*. Nature 356: 215-221.
- Kemp C.J., Wheldon T., Balmain A. (1994). *p53-deficient mice are extremely susceptible to radiation-induced tumorigenesis*. Nature genetics 8: 66-69.
- UNSCEAR (1997). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: *Models, mechanisms and uncertainties at low doses*. A/AC.82/R.576. United Nations Assembly.
- Real A., Ortega M., Casado J.A., Bauluz C., De Vidania R. (1999). *Nuevas aproximaciones para el estudio de los mecanismos de oncogénesis hematológica radioinducida*. Radioprotección, n° 20 vol. VII.

Noticias

● Consejo de Seguridad Nuclear	37
● Principales acuerdos del CSN	38
● Información general	41
● Centrales nucleares.....	42
● Tecnología	46

● Investigación y desarrollo.....	46
● Residuos.....	46
● Protección radiológica y medio ambiente	47
● Cursos y seminarios	48
● Publicaciones.....	48

● CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Nuevo reglamento para las instalaciones nucleares y radiactivas

El pasado 3 de diciembre, el Consejo de Ministros aprobó un nuevo reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas, que sustituye al hasta ahora vigente, de 1972. La nueva norma recoge la experiencia de 27 años de funcionamiento de dichas instalaciones y la práctica internacional actual y se adecúa a la configuración autonómica del Estado. Supone, además, la transposición parcial de la directiva europea sobre normas básicas de radioprotección.

Entre los aspectos más importantes del reglamento destacan:

— Se regula el desmantelamiento y clausura de instalaciones.

— Se crea un comité de información para todas las fases de operación de las instalaciones nucleares, formado por representantes del CSN, el Ministerio de Industria, el titular de la instalación y las delegaciones del Gobierno, comunidades autónomas y municipios implicados.

— Se agilizan los trámites de autorización de instalaciones radiactivas y licencias del personal, sin disminuir las garantías.

— Se establece un registro de transportistas de material nuclear y radiactivo.

— Se adoptan los criterios de exención de radiactividad de la UE.

— Se establecen condiciones más exigentes y detalladas en la documentación técnica necesaria para el licenciamiento y la realización de modificaciones en las instalaciones nucleares.

— Se contempla la declaración de impacto ambiental de las instalaciones.

En su elaboración, que ha supuesto dos años de trabajo, han participado numerosas instituciones, como el Ministerio de Industria y Energía, el Consejo de Seguridad Nuclear, los ministerios de Sanidad, Medio Ambiente e Interior, las comunidades autónomas y las



El nuevo reglamento regula la clausura de instalaciones nucleares. En la imagen, trabajos de desmantelamiento de Vandellós I.

organizaciones profesionales relacionadas. El texto ha sido visto y aprobado por la Unión Europea.

Colaboración en vigilancia radiológica de materiales metálicos

El día 2 de noviembre representantes del Ministerio de Industria, el CSN, Enresa, el Ministerio de Fomento, y de las organizaciones empresariales de recuperación de chatarra (FER) y de la industria siderúrgica (Unesid) firmaron un protocolo de colaboración sobre vigilancia radiológica de los materiales metálicos, resultado de los trabajos del grupo creado a raíz de la fundición de una fuente de cesio en la planta de Acerinox en Los Barrios en mayo de 1998.

En virtud del mismo, las empresas se comprometen a la instalación de sistemas de detección en las acerías y grandes almacenes de chatarra, a contar con personal especializado en protección radiológica, a adoptar las medidas necesarias para impedir la dispersión del material radiactivo y a suscribir un contrato con Enresa para la gestión de estos materiales, entre otras acciones.

Por su parte, Enresa se compromete a retirar los materiales y prestar asesoramiento técnico, mientras que el Ministerio de Industria y Energía creará un registro de las empresas adscritas al protocolo y llevará a cabo las acciones necesarias para resolver los casos en los que se detecte material radiactivo en los pro-

PRINCIPALES ACUERDOS DEL CSN

Revisión de la guía de seguridad 10.5

El Consejo ha aprobado la revisión I de la guía de seguridad 10.5 *Garantía de calidad de proceso, pruebas e inspecciones de instalaciones nucleares*. La revisión está motivada por la de la norma UNE que desarrolla.

Las ETT, excluidas del registro de empresas externas

En abril de 1997 se publicó en el BOE un real decreto sobre la protección operacional de trabajadores externos con riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada. En base a él, el Consejo creó un registro de empresas externas en el que estaban obligados a inscribirse todas las empresas de contrata o trabajo temporal (ETT) que tuvieran establecido un contrato con un trabajador externo de los arriba citados.

En mayo de 1999 entró en vigor el Real Decreto 216/99 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en el ámbito de las

empresas de trabajo temporal; en este reglamento se prohíbe a dichas empresas la celebración de contratos de puesta a disposición para la realización de trabajos que impliquen exposición a las radiaciones ionizantes.

Para el cumplimiento de esta última disposición, el Consejo ha tomado las medidas oportunas para excluir del registro de empresas externas a las de trabajo temporal.

Propuesta de nuevo reglamento de protección radiológica

El Consejo ha remitido al Ministerio de Industria y Energía la propuesta del nuevo reglamento de protección radiológica, que sustituirá al vigente reglamento de protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes. El nuevo texto es el resultado de la transposición española de la Directiva 96/29 Euratom.

Entre las novedades más importantes que introduce destaca el establecimiento de nuevos límites de dosis para trabajadores

y público, de acuerdo con las últimas recomendaciones de la ICRP, y la regulación del concepto de *práctica*, por la que se entiende cualquier actividad humana que pueda suponer un incremento a la exposición de radiaciones ionizantes de fuentes artificiales y también de fuentes naturales cuando son utilizadas por sus propiedades radiactivas. Se excluye, de acuerdo con la directiva europea, la exposición al radón en viviendas.

Por otra parte, el texto regula las intervenciones, tanto en caso de exposición de emergencia como de exposiciones continuadas, y establece un régimen que determine si es necesario tomar medidas de protección radiológica para trabajadores sometidos a incrementos de exposición debidos a fuentes naturales de radiación.

Orden ministerial sobre protección radiológica en Defensa

El Ministerio de Defensa ha publicado una orden que prevé la



Firma del protocolo de chatarra, el pasado mes de noviembre.

ductos resultantes. El CSN realizará las funciones de inspección y asesoramiento que le son propias como organismo regulador.

Comparecencia del presidente del CSN ante el Parlamento

El pasado 15 de diciembre se produjo la comparecencia anual del presidente del Consejo ante la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados. Juan Manuel Kindelán hizo un detallado informe de las actuaciones llevadas a cabo por el CSN a lo largo del año 1998, así como del estado de seguridad de las instalaciones nucleares y radiactivas del país.

También planteó a los diputados las nuevas tareas a que se enfrenta el CSN, competencias recientemente atribuidas por ley en materia de vigilancia radiológica ambiental y en situaciones excepcionales de emergencia, así como los cambios estructurales y funcionales que es necesario abordar para dar respuesta a las mismas.

Previamente, los días 20 y 28 de octubre comparecieron ante la ponencia que estudia los informes se-

creación de una Junta Central de Protección Radiológica dependiente del ministro, que actúe como órgano de asesoramiento, planificación, coordinación y control en materia de protección radiológica para su mejora en las instalaciones de su ámbito, tanto de uso civil como de uso militar, dependientes del Ministerio. El CSN ha sido invitado a formar parte de dicha Junta, habiéndose celebrado ya la primera reunión de la misma.

Escala de incidentes en transporte nuclear

En Francia se ha desarrollado una escala, similar a la de sucesos nucleares (INES), para la clasificación de incidencias en transporte de materiales nucleares y radiactivos, para mejorar la calidad y la rapidez de la información al público. El Consejo de Seguridad Nuclear está estudiando la citada escala con vistas a su posible aplicación en España.

Informe final sobre las instalaciones de Egmasa

Egmasa fue una de las empresas afectadas por el incidente de fu-

sión de una fuente de cesio-137 en la acería de Acerinox el pasado año. En cumplimiento de los requerimientos efectuados a las diversas empresas afectadas, Egmasa ha desarrollado un plan de descontaminación y gestión de residuos de la planta de inertización de Palos de la Frontera (Huelva), que ha sido aprobado por el Consejo. Como consecuencia de este plan, se han enviado cuatro expediciones de residuos radiactivos a El Cabril y se ha gestionado el agua y lodos de la balsa de pluviales mediante su incorporación al proceso de inertización.

Aprobada la finalización del plan y efectuada una inspección final de la instalación y un estudio radiométrico detallado de la misma, pueden considerarse finalizadas todas las actividades necesarias para que Egmasa pueda proceder a su funcionamiento normal sin ninguna condición derivada del accidente de Acerinox.

Exigencia de título para radiofísicos hospitalarios

Ante el aumento que se está produciendo de las competencias de

los radiofísicos en el ámbito de la radioterapia y su creciente participación como operadores de los aceleradores de tratamiento oncogénico en diversas circunstancias, y con el fin de aumentar las garantías en materia de protección radiológica en este tipo de instalaciones, el Consejo va a remitir una circular a los titulares de instalaciones de radioterapia en España, requiriendo que los radiofísicos inicien, en el plazo de tres meses, los trámites para la obtención de licencias de operador o supervisor de instalaciones radiactivas.

Misión IPERS en España

El Consejo ha promovido la realización de una revisión, por un grupo internacional de expertos, del análisis probabilista de seguridad realizado por una central nuclear española. Se trata de una misión IPERS (Independent Peer Reviews of Probabilistic Safety Assessment), una iniciativa patrocinada por el OIEA desde 1988. Será la primera vez que se realice este tipo de revisión en España y la central donde se llevará a cabo será José Cabrera.



Juan Manuel Kindelán, presidente del CSN.

mestres del CSN los subdirectores de Centrales Nucleares, Protección Radiológica, Instalaciones Radiactivas y del Ciclo y Residuos del CSN.

Conferencias en el CSN

El pasado 27 de octubre, Pedro Miguel Etxenike, catedrático de Física de la Materia Condensada de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad del País Vasco, pronunció una conferencia en el CSN titulada *Lo útil de conocer*. En su charla defendió el conocimiento humano como base para el crecimiento económico sostenido y señaló tres descubrimientos esenciales del siglo XX que alcanzarán gran protagonismo en el XXI: el gen, el chip y el átomo.

El día 3 de diciembre, Enric Trillas, catedrático del departamento de Inteligencia Artificial, Universidad Politécnica de Madrid, impartió una conferencia sobre la lógica borrosa titulada *Lenguaje y tecnología: la lógica fuzzy*. En ella explicó los principios de esta lógica, cuyo desafío consiste en efectuar de forma computerizada razonamientos que son propios del sentido común. Asimismo, mencionó numerosos ejemplos de aplica-



Pedro Miguel Etxenike y Enric Trillas, conferenciantes en el CSN.

ción de esta disciplina, como el control de puentes-grúa, la captura de naves espaciales, el control de trenes o el funcionamiento de numerosos electrodomésticos.

Reunión del Comité de Dirección de la AEN/OCDE

La 99ª reunión del Comité de Dirección de la AEN se celebró en París los días 12 y 13 de octubre. En representación del CSN asistió el vicepresidente, Aníbal Martín. En ella se aprobó el programa de trabajo y presupuesto para 2000, que supone un crecimiento cero después de los recortes habidos en los últimos tres años. Se debatió también la petición de Polonia para acceder a la AEN, y se acordó, siguiendo las pautas recogidas en el plan estratégico, mantener un debate más amplio sobre la ampliación de la AEN a los países del este europeo.

Como conclusión se constató que hay situaciones muy diferentes, con algunos países en situación similar a la occidental, como Hungría, Chequia y quizás Eslovaquia, y otros que se encuentran todavía muy alejados de la misma, como Lituania, Bulgaria, Armenia, Ucrania y Rusia, siendo este país el peor considerado por la mayoría de los asistentes. El informe WENRA se considera una iniciativa fundamental, ya que contiene una valoración fiable, actualizada y exclusivamente técnica de la situación.

Colaboración con Ucrania

Entre el 26 y el 28 octubre, el vicedirector de la Inspección Estatal y el director del departamento de Sistemas Eléctricos e Instrumentación y Control de Ucrania acompañaron a inspectores del CSN en una inspección a la central nuclear de Almaraz sobre sistemas eléctricos y de instrumentación y control, relacionados con la revisión periódica de la seguridad.

Por otro lado, se ha creado un grupo asesor del organismo regulador ucraniano para el licenciamiento de las modificaciones y mejoras previstas en el proyecto de mejora del sarcófago de Chernóbil. El grupo, que está financiado por el BERD con 750 millones de dólares, está compuesto por la NRC, AECB, DSIN,

NII, GRS, CSN y STUK. La reunión de constitución del grupo se celebró los días 2 y 3 de diciembre en Kiev. Las actividades del grupo contemplan el asesoramiento sobre la estrategia reguladora a la NRA, así como sobre temas específicos.

Estancias de técnicos cubanos en el CSN

Durante el último trimestre de 1999, cinco técnicos del Centro Nacional de Seguridad Nuclear de Cuba trabajaron en la sede del CSN. Dos de ellos permanecieron dos meses, como parte del acuerdo técnico de cooperación con el organismo regulador cubano, formándose en el área de instalaciones radiactivas médicas. Entre otras actividades, asistieron junto a los inspectores del CSN a la retirada de una fuente de cobalto 60 de un teratrón 80 en el hospital Nuestra Señora de Aránzazu de San Sebastián y al cambio de una fuente de cobalto 60 de un teratrón 780 en el hospital Marqués de Valdecilla de Santander.

Los otros tres técnicos eran becarios del OIEA y trabajaron durante un mes en el CSN en distintos temas: en aplicaciones reguladoras de los análisis probabilísticos de seguridad, en aspectos jurídicos de licenciamiento de centrales nucleares e instalaciones radiactivas, y en actividades de inspección en las instalaciones radiactivas españolas.

Reunión de WENRA

Los días 4 y 5 de noviembre se celebró una reunión de WENRA, que tuvo lugar en Estocolmo, por la coincidencia con el 25 aniversario del organismo regulador sueco (SKI) y el cumplimiento del mandato de su director general, L. Högberg. La delegación del CSN estuvo formada por el presidente, el vicepresidente y el responsable de relaciones internacionales. Aprovechando dicha reunión se realizó una visita al laboratorio internacional de Halden (Noruega), para ver el laboratorio de factores humanos y el reactor de pruebas de materiales y combustible. El presidente del CSN participó como ponente invitado en los actos del 25 aniversario, junto al ministro de Medio Ambiente, y los Sres. Högberg, Lacoste (Francia) y Williams (Reino Unido).

Durante la reunión, se decidió que los resultados de la misión WENRA enviada a Eslovaquia y Bulgaria para obtener información sobre el estado actual de la seguridad nuclear en las centrales de Bohunice V-I y Kozloduy 1-4, serán utilizados para la actualización del informe WENRA. Asimismo, se determinó que el GRS alemán, el IPSN francés y el CSN obtendrán nueva información sobre la situación de las centrales checas de Dukovany y Temelin, realizando una primera valoración de la misma. También se avanzó en los temas seleccionados para mejorar la armonización de prácticas reguladoras en los países de la UE.

La próxima reunión de WENRA se celebrará en Córdoba los días 9 y 10 de marzo, una semana antes

de la conferencia internacional del OIEA sobre residuos.

Reunión del Foro de Reguladores Iberoamericanos

Entre el 24 y el 26 de noviembre pasado se celebró en Brasil la quinta reunión del Foro de Reguladores Iberoamericanos, en la que participaron los máximos responsables de los organismos reguladores de Argentina, Brasil, Cuba, México y España. La delegación del CSN estuvo compuesta por el presidente y el director técnico, y realizó una presentación de la política de información al público y las prácticas desarrolladas en nuestro país. La reunión incluyó una visita a la central de Angra.

► INFORMACIÓN GENERAL

Accidente en la planta de Tokaimura (Japón)

El 30 de septiembre pasado, se produjo un accidente en la instalación de reprocesado de combustible de Tokaimura (Japón), que dio lugar a una reacción en cadena incontrolada. Como consecuencia del accidente, tres trabajadores de la planta, operada por la empresa JCO Co. Ltd., recibieron dosis de radiación superiores a los 8 sievert (en el rango de las dosis letales) y otras 46 personas (entre ellas 10 personas no pertenecientes a la empresa, incluidos 3 bomberos) recibieron dosis superiores a los límites autorizados.

La reacción en cadena se consiguió parar el 1 de octubre, mediante la extracción de agua de la camisa de refrigeración del contenedor afectado. El accidente provocó también la liberación de gases radiactivos al exterior, por lo que las autoridades japonesas determinaron la evacuación de la población en un área de 350 metros en torno a la instalación, el confinamiento de los residentes en un radio de 10 kilómetros, la suspensión de ciertas actividades, y el control del agua y los productos agrarios de la zona.

El accidente se produjo durante la manipulación de un contenedor que contenía uranio con un enriquecimiento del 18,8%, en una solución líquida con ácido nítrico. Por error, se añadió uranio en dicho contenedor en cantidades muy superiores al límite establecido para evitar situaciones de criticidad.

Tokaimura es una planta piloto de procesado de combustible para reactores de investigación y también produce combustible de menor enriquecimiento para las centrales nucleares japonesas comerciales. Según informaron las autoridades japonesas y confirmó el OIEA, la liberación de material radiactivo sólo contenía gases nobles y cesio 138, cuyo periodo de semidesintegración es de 32 minutos y que procede de la desintegración de xenón 138, cuyo periodo es de 14 minutos, por lo que la radiactividad desapareció

rápidamente. Por otro lado, durante las 17 horas que se mantuvo la criticidad, la liberación de energía fue moderada y se mantuvo la integridad del recipiente afectado.

La única instalación española de producción de combustible nuclear no utiliza procesos en fase líquida, siendo el grado máximo de enriquecimiento permitido del 5%, por lo que no podría producirse un accidente semejante en nuestro país.

Jornadas sobre transporte de materiales radiactivos

Organizadas por la autoridad portuaria de Santander con la colaboración del CSN y otros organismos e instituciones, se celebraron en la capital cántabra, los días 17 y 18 de diciembre, unas jornadas sobre transporte de materiales radiactivos. El objetivo del encuentro, dirigido a mandos intermedios (capitanes y jefes de seguridad) de los puertos españoles, era aportar conocimientos básicos para disponer de criterios al adoptar medidas adecuadas a problemas concretos, como si determinado material puede o no entrar a puerto o interpretar correctamente el riesgo ante un cargamento con material radiactivo.

En las jornadas se puso de manifiesto el creciente interés nacional e internacional por establecer procedimientos destinados a obtener unas condiciones de seguridad y protección contra las radiaciones, y se destacó que la apertura de fronteras y el enorme incremento de circulación de mercancías ha provocado que los problemas relacionados con la manipulación de sustancias en tránsito cobren especial interés, aumentando la necesidad de una formación específica en este campo. También se trataron aspectos como el transporte de residuos, los pódicos para el control de vehículos cargados en el puerto, el transporte de uranio en el ciclo de combustible o el proyecto de control sistemático de material radiactivo.

Fernando Zamora, jefe del área de Instalaciones Radiactivas Industriales del CSN, pronunció una conferencia sobre la reglamentación en el embalaje de materiales radiactivos.



Jornadas en Santander sobre transporte de materiales radiactivos.

CENTRALES NUCLEARES

Información referida a los meses de septiembre, octubre y noviembre de 1999

José Cabrera

La central funcionó durante los tres meses sin incidencias destacables.

El CSN informó favorablemente la renovación del permiso de explotación de la central por un periodo de tres años, tras la evaluación de la revisión periódica de seguridad decenal y del análisis probabilístico de seguridad. Asimismo se ha evaluado el cumplimiento de las condiciones anexas al permiso de operación anterior y a la autorización para la sustitución del sistema de instrumentación nuclear, así como de las instrucciones complementarias relativas a retaponado de tubos del generador de vapor, sustitución de la tapa de la vasija a presión del reactor y modificación de los bastidores de piscina de almacenamiento de combustible irradiado. Finalmente, se ha analizado la operación de la central y la resolución de temas que estaban pendientes desde la anterior renovación del permiso.

El condicionado anexo a la renovación presenta diversas modificaciones respecto a los

condicionados de renovaciones previas, de acuerdo con el nuevo modelo ya adoptado para la renovación del permiso de Santa María de Garoña en julio de 1999. Adicionalmente, el CSN ha requerido dos grupos de instrucciones complementarias al nuevo permiso. El primer grupo incluye instrucciones cuyos objetivos generales son clarificar el contenido o facilitar el cumplimiento del condicionado. Entre estas instrucciones son de destacar las relativas a diversas acciones sometidas a plazo, que el titular debe realizar en relación con el riesgo de fuga de hidrógeno del alternador, análisis derivados del APS, programa de revisión de bases de diseño y factores humanos.

El segundo grupo de instrucciones complementarias ha sido el resultado de las evaluaciones de la revisión periódica de seguridad y el análisis probabilístico de seguridad. Durante las mismas se han identificado diversas mejoras cuya implantación contribuirá a una reducción significativa del riesgo global de la central. Dichas mejoras se refieren a la disposición de paneles en la sala de control, actuación remota de las válvulas del sistema de

inyección de seguridad para la conmutación entre las fases de inyección a corto y a largo plazo tras un accidente con pérdida de refrigerante primario, recubrimiento de la piscina de almacenamiento de combustible irradiado, fiabilidad de equipos, procedimientos de operación de emergencia y herramientas para la formación del personal de operación.

En la condición 13ª del anexo al nuevo permiso se ha establecido un plazo de seis meses para que el titular presente las correspondientes propuestas para estas mejoras, que serán evaluadas por el CSN en el plazo de tres meses.

El periodo de tres años establecido para la vigencia del nuevo permiso se corresponde con el plazo en el que se ha estimado que las mejoras mencionadas en el párrafo anterior puedan estar implantadas en la central.

Durante este periodo el CSN realizó cuatro inspecciones a la central.

Santa María de Garoña

El día 15 de noviembre se produjo la activación de la cadena B del sistema de protección del reactor por fallo de la alimentación eléctrica a la misma, debido a una señal espuria de sobre-

Conferencia sobre democracias y centrales nucleares

Los días 2 y 3 del próximo mes de febrero se celebrará en Bruselas la primera conferencia europea sobre democracias locales y centrales nucleares. El encuentro ha sido organizado por el grupo europeo de municipios con centrales nucleares y contará con una amplia participación de expertos y personal relacionado con el tema a debate. Serán los directores generales del OIEA, Mohamed El Baradei, de la AEN, Luis Echávarri, y de la DG XVII, Pablo Benavides, junto al eurodiputado Carlos Westerndorp,

los encargados de inaugurar las jornadas. A continuación, se debatirá sobre el impacto de las centrales nucleares en el ámbito local desde el punto de vista político, técnico y de ordenación. Se abordarán también otros temas de interés tales como el futuro de la energía nuclear o la gestión de los residuos radiactivos. Una mesa redonda sobre políticas nucleares en Europa, con participación de representantes de la Comisión de Energía del Parlamento Europeo y de la vicepresidenta de la Comisión, Loyola de Palacio, pondrá el punto final a esta conferencia.

tensión. Posteriormente, se produjo también la activación de la cadena A del sistema de protección del reactor, debido a señal de alta lectura de los monitores de potencia térmica promediada del reactor, originada por una oscilación eléctrica. La concurrencia de ambas señales dio lugar a la parada automática del reactor. Una vez revisadas las alimentaciones eléctricas en las que tuvo origen el suceso, la central reanudó la operación a potencia.

El CSN informó favorablemente la aprobación de las revisiones 11 y 12 del reglamento de funcionamiento. Ambas revisiones incluyen cambios derivados de la reorganización realizada en Nuclenor, empresa titular de la central.

Durante este período el CSN realizó cuatro inspecciones a la central.

Almaraz

El CSN informó favorablemente la aprobación de la revisión 11 del reglamento de funcionamiento. Incluye cambios derivados de la modificación de la estructura organizativa de la empresa titular, como consecuencia de la unificación de la gestión para la explotación de las centrales de Almaraz y Trillo. En esta revisión se ha definido la estructura organizativa sólo hasta los niveles superiores de la

misma. Una vez finalizada la integración completa de las organizaciones, se desarrollará el resto de los niveles y se revisará nuevamente el reglamento de funcionamiento.

Durante este período, el CSN realizó seis inspecciones a la central.

Ascó

La unidad I funcionó durante los tres meses sin incidencias destacables.

El día 15 de octubre, la unidad II de la central se encontraba al 77% de potencia en la subida de carga posterior a la parada para recarga. Debido a la actuación de una protección contra sobrepresión en una fase del transformador principal, se produjo la desconexión del alternador, dando lugar a la parada de la turbina y, como consecuencia de ésta, a la parada automática del reactor. La señal de sobrepresión en el transformador se debió al incorrecto alineamiento de una válvula de venteo del depósito de aceite. Una vez subsanada la causa de la parada, la central inició nuevamente el arranque.

El día 22 de octubre, durante la realización de la prueba de rechazo de carga al 50%, tras el aumento de potencia de la unidad II, se produjo la parada automática del reactor por sobretemperatura. La actuación de la

protección por sobretemperatura se debió a las modificaciones introducidas en la ecuación de disparo correspondiente como consecuencia del aumento de potencia. La central reanudó la operación a potencia, manteniendo como potencia máxima el valor licenciado con anterioridad a la subida de potencia, tras justificar que los parámetros del sistema de protección del reactor, para el supuesto de rechazo de carga desde el 50%, se encontraban adecuadamente ajustados para este valor de potencia máximo. El titular continuó realizando los análisis necesarios para determinar los valores que debían ajustarse en dicho sistema para el nuevo valor de potencia máxima autorizado. Una vez establecidos los nuevos ajustes, el día 14 de noviembre se repitió la prueba de rechazo de carga al 50% con resultados aceptables.

Entre los días 11 de septiembre y 13 de octubre ha tenido lugar la parada para recarga de la unidad II. Durante la misma se han implantado las modificaciones de diseño necesarias para el aumento de potencia de la unidad hasta el 108% de la potencia térmica nominal, se han introducido elementos de combustible de diseño MAEF y varillas de óxido de gadolinio al 2%.

(Continúa en la página siguiente)

III Jornada técnica de Camp

El pasado 11 de noviembre tuvo lugar en el Ciemat la III Jornada técnica de Camp-España (la primera tuvo lugar en 1997 en Barcelona y la segunda en Valencia en 1998). Este seminario fue presidido por Rafael Caro, consejero del CSN.

Camp (Code Applications and Maintenance Program) es un proyecto internacional propuesto y promocionado por la NRC, básicamente para la validación y mejora de capacidades de los códigos termohidráulicos de los reactores de agua ligera (Relap5/MOD3, TRAC-PF1/MOD2 y TRAC-BF1).

Es una continuación del programa ICAP (International Code Assessment Program), también propuesto por la NRC con la misma finalidad. En España, 18 grupos del entorno de la Universidad y de Unesa, con la participación de Ciemat y liderados por el CSN, participan activamente en esta empresa internacional junto a otros 21 países con intereses nucleares.

Estos códigos incorporan, en el momento actual, el conocimiento disponible de la fenomenología de la mecánica de fluidos en régimen bifásico, transitorios, pruebas nucleares y algún escenario de accidentes. Como consecuencia, y al estar refrendado

CENTRALES NUCLEARES

(Viene de la página anterior)

El CSN ha informado favorablemente la aprobación de la revisión 59 de las especificaciones técnicas de funcionamiento de la unidad II en la que se introducen cambios relativos al quemado de los elementos de combustible a almacenar en la piscina de almacenamiento de combustible irradiado, concentración de boro y criticidad en esa piscina, todos ellos con el objetivo de adaptar el documento a la situación prevista tras el aumento de potencia.

El CSN ha informado favorablemente la aprobación de las revisiones 28 y 29 del estudio de seguridad de la unidad II. En la primera se introducían cambios relativos al almacenamiento de combustible irradiado tras el aumento de potencia. En la segunda se aumentaba la capacidad y enriquecimiento máximo para el almacén de combustible nuevo y se incorporaban el resto de cambios asociados al aumento de potencia, así como los derivados de otras modificaciones de diseño implantadas durante la recarga.

El CSN ha informado favorablemente la aprobación de las revisiones 57 y 60 de las especi-

ficaciones técnicas de funcionamiento de las unidades I y II respectivamente. Las revisiones incorporan cambios para las dos unidades de la central relativos a instrumentación de vigilancia de gases tóxicos para aislamiento de la ventilación de la sala de control, parámetros de vigilancia del material de la vasija a presión del reactor y pruebas físicas de arranque. Además se incorporan, para la unidad II, cambios derivados de la introducción de combustible MAEF y varillas de óxido de gadolinio al 2%.

El CSN ha informado favorablemente la autorización por la Dirección General de la Energía del aumento de potencia de la unidad II de la central desde 2.686 a 2.900 MWt. En dicha autorización se establecían condiciones para el programa de pruebas previo al arranque de la unidad una vez introducidas las modificaciones de diseño correspondientes, se establecían puntos de espera y se fijaban las pruebas a realizar en presencia de inspectores del CSN. Finalmente, se requería la apreciación favorable del CSN a los resultados de las pruebas, antes de elevar la potencia de la central por encima del valor de 2.686 MWt previamente autorizado. Dicha apreciación fue emitida por el CSN el día 16 de noviembre tras la realización de

todas las pruebas con resultados aceptables.

El CSN ha informado favorablemente la concesión de una exención temporal, por un plazo de 36 horas, a las especificaciones técnicas de funcionamiento de las unidades I y II relativas a las bombas del sistema de agua de protección contra incendios. La solicitud de exención estaba motivada por la inoperabilidad del motor eléctrico de una de las bombas del sistema, debido al descargo de la barra eléctrica desde la que se alimenta, para la realización de trabajos previstos durante la parada para recarga de la unidad II.

Durante este periodo el CSN realizó siete inspecciones a la central.

Cofrentes

La central funcionó durante los tres meses sin incidencias destacables.

Durante este periodo el CSN realizó nueve inspecciones a la central.

Vandellós II

El CSN ha informado favorablemente la aprobación de la revisión 13 del reglamento de funcionamiento. Incluye cambios para el cumplimiento de las condiciones impuestas para la aprobación de la revisión anterior, en la que se incorporó la modificación de la estructura organizati-

con una amplia matriz de experimentos, este proyecto proporcionará, en mayor o menor medida, resultados con validez de naturaleza experimental, que permitan un conocimiento detallado y profundo de la *performance* del sistema y de su nivel de seguridad.

XXV Reunión anual de la Sociedad Nuclear Española

Del 17 al 19 del pasado mes de noviembre tuvo lugar en Granada la XXV reunión anual de la Sociedad Nuclear Española.

Se presentaron numerosas ponencias de gran nivel técnico en 29 sesiones, que incluían todos los aspectos de la tecnología nuclear: seguridad nuclear, protección radiológica, ingeniería, aplicaciones médicas, extensión de vida, mantenimiento, residuos, formación y combustible, entre otros.

En la inauguración, presidida por Guillermo Gutiérrez (Consejero de Industria de la Junta de Andalucía) participó el vicepresidente del CSN, Aníbal Martín. Y en la clausura, en la que Antonio Gomis, director general de la Energía, hizo un resumen del año 1999, participó Rafael Caro, consejero del CSN.

va de la empresa titular como consecuencia de la unificación de la gestión para la explotación de las centrales de Vandellós II y Ascó. Dichas condiciones se referían a la idoneidad de la organización propuesta para el tratamientos de los temas relativos a formación del personal y a gestión de repuestos.

Durante este periodo el CSN realizó cinco inspecciones a la central.

Trillo

El CSN ha informado favorablemente la renovación del permiso de explotación de la central por un periodo de cinco años. Una vez finalizado el programa de análisis de experiencia operativa y sistemas (AEOS), e implantadas las modificaciones de diseño resultantes del mismo, se ha otorgado, de manera análoga a lo realizado en su momento para las restantes centrales, un permiso de una duración adecuada para que sean realizados por el titular y evaluados por el CSN la revisión periódica de la seguridad decenal y el análisis probabilístico de seguridad de la central. Para la concesión del nuevo permiso, el CSN ha evaluado el cumplimiento de las condiciones anexas al permiso de operación anterior y al permiso de explotación inicial, el cumplimiento de otros requisi-

tos del CSN, así como la operación de la central y las actividades mas importantes realizadas por el titular durante el periodo de vigencia del permiso anterior.

El condicionado anexo a la renovación presenta diversas modificaciones respecto a los condicionados de renovaciones previas, de acuerdo con el nuevo modelo ya adoptado para la renovación de los permisos de Santa María de Garoña en julio de 1999 y José Cabrera en octubre de 1999. En el caso específico de Trillo, se requiere que un año antes de finalizar el periodo de vigencia del nuevo permiso se solicite la renovación del mismo, presentando el informe sobre la revisión periódica de la seguridad decenal y una revisión del análisis probabilístico de seguridad.

Adicionalmente, el CSN ha remitido al titular instrucciones complementarias al nuevo permiso cuyos objetivos generales son clarificar el contenido o facilitar el cumplimiento del condicionado.

El CSN ha informado favorablemente la aprobación de la revisión 7 del reglamento de funcionamiento. Incluye cambios derivados de la unificación de la gestión para la explotación de las centrales de Trillo y Almaraz, ya comentada en el apartado de esta segunda central.

El CSN ha informado favorablemente la aprobación de la revisión 23 de las especificaciones técnicas de funcionamiento. Incluye cambios relativos a los sistemas de agua de alimentación de emergencia y de ventilación del edificio de agua de alimentación de emergencia, derivados de los resultados de las pruebas de puesta en marcha, realizadas tras la implantación de modificaciones de diseño derivadas del programa AEOS.

Durante este periodo el CSN realizó una inspección a la central.

Vandellós I

Durante estos meses han continuado los trabajos de desmantelamiento de la central sin incidencias destacables.

El CSN ha informado favorablemente la aprobación de la revisión 2 del plan de emergencia interior. Se trata de una revisión completa del documento adaptando su contenido a la situación actual de la instalación.

El CSN ha apreciado favorablemente la solicitud de Enresa para utilizar las dependencias de la cota +3,50 del edificio de la instalación de producción de energía (IPE) como almacén temporal de residuos radiactivos.

Durante este periodo el CSN realizó cuatro inspecciones a la central.



Mesa inaugural de la XXV Reunión Anual de la SNE.

Además de las ponencias, que sobrepasaron las 400, hubo dos sesiones especiales, una sobre las centrales nucleares en el mercado de competencia, presidida por E. Martín Baena (Endesa), y la otra sobre la gestión de los residuos radiactivos, presidida por María Fernanda Sánchez Ojanguren (CSN).

Conferencia PLEX-PLIM

Los días 3, 4 y 5 de noviembre se celebró en el Hotel Palace de Madrid la V Conferencia de la serie PLIM & PLEX organizado por Nuclear Engineering International. Las cuatro anteriores, desde

1991, habían tenido lugar en Berlín, Zurich, Niza y Praga.

La presentación introductoria la realizó el consejero del CSN Rafael Caro, y las tres sesiones, que trataron sobre experiencias en centrales nucleares (18 ponencias), inspección, vigilancia y mantenimiento (17 ponencias), y vasijas de presión e *internals* (14 ponencias), fueron presididas por L. Myrdding Davies (Reino Unido), por Rafael Caro (España) y por Barth Doroshuk (EEUU), respectivamente.

TECNOLOGÍA

Presentación en el Ciemat del reactor JHR

El 30 de septiembre se llevó a cabo en el Ciemat, con el auspicio del subdirector general del departamento de Fisión Nuclear, José Luis Díaz, la presentación del proyecto del reactor *Jules Horowitz*. Tres ponentes del Comisariado de Energía Atómica de Francia expusieron los objetivos perseguidos en el proyecto, las características del reactor y las posibilidades y servicios que se pretenden ofrecer. La apertura y bienvenida corrió a cargo del consejero del CSN, Rafael Caro, quien compartió la necesidad de este proyecto, que se entiende está justificada cuando los reactores experimentales de todo el mundo tienen unos años de explotación que hacen vislumbrar su envejecimiento relativamente pronto, cuando el programa nuclear francés prevé su continuidad futura y teniendo que afrontar retos tecnológicos que precisan el desarrollo experimental, como es el aumento del grado de quemado del combustible y de más amplios estudios sobre los materiales que sufren daño por irradiación.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

AMES Workshop

El martes 2 de noviembre tuvo lugar en el Consejo de Seguridad Nuclear el seminario *AMES Workshop on Reactor Pressure Vessel Life Predictions*, proyecto Enurka (UE). En el mismo se presentaron ocho ponencias, dos de ellas procedentes de España (Tecnatom), dos del Instituto Kurchatov (Rusia), dos del Instituto de Investigación Nuclear de Ucrania, una del Reino Unido y otra de la Unión Europea. La presidencia y ponencia introductoria corrió a cargo de Rafael Caro, consejero del CSN.

Conferencia internacional Mathematics and Computation

Del 27 al 30 de septiembre tuvo lugar en la escuela de ingenieros industriales de Madrid la conferencia *Mathematics and Computation. Física de Reactores*



Participantes en la conferencia Mathematics and Computation.

tores y Análisis Medioambiental en Aplicaciones Nucleares (M & C -99-Madrid). Se trata de una más de las conferencias que con el título genérico M&C organiza cada dos años la American Nuclear Society, en esta ocasión con el patrocinio de AEN (OCDE).

El Consejo de Seguridad Nuclear participó como organismo patrocinador, y el consejero Rafael Caro como copresidente honorario. A cargo de este último corrió la alocución de bienvenida en la sesión inaugural. Dicha sesión estuvo presidida Guillermo Velarde y Saturnino de la Plaza (ambos de la Universidad Politécnica de Madrid), José Luis González (Enusa), Antonio Colino (Enresa), Rafael Caro (CSN), Luis Echávarri (AEN), Agustín Alonso (CSN) y Félix Ynduráin (Ciemat). Se realizaron más de 20 ponencias con participación de 300 expertos. Los organizadores de la conferencia, profesores Velarde y Aragonés, junto a sus colaboradores, merecieron de forma explícita una mención de agradecimiento y felicitación por parte de todos los organismos participantes.

RESIDUOS

Nuevo almacén de residuos radiactivos de muy baja actividad en Francia

La Agencia Nacional para la Gestión de Residuos Radiactivos de Francia (ANDRA) ha anunciado su intención de construir un almacén para albergar residuos radiactivos de muy baja actividad en las proximidades del ya existente para residuos de baja y media actividad de Soulaire, al este de París.

El nuevo centro, programado para comenzar su funcionamiento en el año 2002, está diseñado para albergar 750.000 toneladas métricas de residuos ligeramente radiactivos, el 80% procedente de la industria nuclear y el resto de otras industrias, desmantelamiento de fábricas que utilizaron materiales radiactivos o proyectos de rehabilitación de empla-

zamientos. Entre ellos, estarían los residuos industriales especiales (DIS) y residuos industriales tri-viales (DIB), similares a los de vertido convencional, pero contaminados con radionucleidos. El volumen de estos residuos aumentará previsiblemente cuando comience el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Aunque todavía no es oficial, se considerarían residuos de muy baja actividad aquellos entre 1 y 100 Bq por gramo.

El repositorio se construirá sobre una capa de arcilla impermeable en las proximidades del centro de L'Aube. ANDRA está negociando con los propietarios de los terrenos de los alrededores. Los bultos irán a 5 metros de profundidad y se cubrirán con una membrana protectora.

► PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MEDIO AMBIENTE

Intercomparación de análisis en laboratorios de baja actividad

Durante el cuarto trimestre del año 1999 se llevó a cabo un nuevo ejercicio dentro del programa periódico de campañas de intercomparación que el CSN realiza en colaboración con el Ciemat, con objeto de garantizar la homogeneidad y fiabilidad de los resultados de las medidas realizadas en los laboratorios de radiactividad ambiental.



Mapas del grupo radiológico del Salem (CSN).

La matriz objeto de estudio consistió en una solución acuosa preparada y calibrada en el laboratorio de metrología de radiaciones ionizantes del Ciemat, conteniendo los siguientes radionucleidos en concentraciones de actividad similares a los niveles ambientales: Sr-90, H-3, Am-241, Cs-137, Co-60 y Th-230.

En el ejercicio participaron 30 laboratorios, entre ellos uno portugués, representante de la Dirección

General de Ambiente de dicho país, en el marco del acuerdo de colaboración entre ambos países.

Los resultados serán presentados en el primer trimestre del año 2000, en una reunión de trabajo a la que asistirán todos los laboratorios participantes, y que coincidirá con la reunión anual de los laboratorios incluidos en la red de estaciones de muestreo del CSN.

VII Informe sobre efectos biológicos de radiaciones ionizantes

El Consejo Nacional de Investigación (NRC), brazo operativo de las academias nacionales de ciencias, ingeniería e instituto de medicina de EE UU, ha comenzado el estudio del VII Informe sobre la exposición a bajos niveles de radiación, del Comité sobre los Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes (BEIR), que junto con el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) forman la base científica que permite regular la protección radiológica.

Esta regulación es el resultado de un proceso que comienza con el escrutinio de los trabajos sobre radiaciones ionizantes publicados por investigadores independientes, seguido por el cotejo y la incorporación de los mismos al estado del arte sobre los efectos de las radiaciones. A continuación, teniendo en cuenta parámetros tanto científicos como sociales y económicos, comisiones científicas, como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y el Consejo Nacional de Protección contra las Radiaciones (NCRP) de EE UU, realizan las recomendaciones que sirven de base a los organismos reguladores para el establecimiento de las correspondientes normas.

Suelos contaminados con uranio procesado

M.P. Elles, de la Edenspace Systems Corporation, Y. Roh, del Department of Plant and Soil Science del Oak Ridge National Laboratory, y S.Y. Lee e I.L. Larsen, de la Environmental Sciences Division del mismo laboratorio, han llevado a cabo un interesante trabajo en las instalaciones del Fernald Environmental Management Project. Allí, unos dos millones de metros cúbicos de suelo están contaminados con uranio procesado a través de un proceso de extracción química selectiva, que ha dado lugar a una ruptura en el equilibrio secular del uranio y sus descendientes, entre los que se encuentra el radón. En el estudio han llegado a la conclusión de que la mayor contribución a la dosis, procedente de suelos contaminados con uranio procesado, es debida al uranio y no al radón, debiendo ser la actividad del uranio y su movilidad en el medio ambiente el principal objetivo de la limpieza de suelos contaminados.

Accidentes de criticidad en Rusia

George J. Vargo, del Pacific Northwest National Laboratory (EEUU), ha recopilado 14 accidentes de criticidad ocurridos en Rusia entre los años 1953 y 1997, llevando a cabo un análisis cualitativo de causas, factores desencadenantes y efectos sobre los trabajadores de los mismos. La principal causa de dichos accidentes resulta ser el diseño inadecuado de equipos de proceso, seguida por errores humanos y violaciones de procedimiento.

Radón en agua de bebida

La Environmental Protection Agency (EPA), de Estados Unidos, está desarrollando una normativa para limitar el radón presente en el agua de bebida. Ya con anterioridad, en septiembre de 1998, la National Academy of Sciences (NAS) publicó un amplio estudio que recogía los datos científicos sobre los riesgos derivados de la presencia del radón en agua de bebida, riesgos que se han visto confirmados con el informe de NAS, denominado BEIR VI y publicado a comienzos de 1999, en el que se ratifica la amenaza del radón para la salud pública.

Grupo de Normas para la Medida de la Radiactividad Ambiental

El pasado mes de noviembre tuvo lugar la tercera reunión del Grupo de normas para la determinación de la radiactividad ambiental, coordinado por el Consejo de Seguridad Nuclear y cuyo objetivo es la elaboración de procedimientos normalizados, con la participación de expertos de los laboratorios de diversas universidades, centrales nucleares y otros organismos. Sus actividades se han integrado en el subcomité 03 del comité técnico nuclear CTN-73 de Aenor, a fin de que los procedimientos desarrollados se publiquen como normas UNE.

Este grupo, como otros dos dedicados a incertidumbre y patrones, se constituyó al detectarse que los resultados obtenidos en los programas de las distintas redes de vigilancia radiológica ambiental muestran diferencias atribuibles a la utilización de metodologías diversas. En su reunión constitutiva, celebrada en noviembre de 1998, se crearon cuatro subgrupos: muestreo, preservación y preparación de muestras, análisis, y equipos y medidas.

Como resultado de las actividades llevadas a cabo durante 1999, se han elaborado borradores de procedimientos sobre muestreo, preservación y preparación de muestras y análisis de Sr-89/90 en suelos; análisis del índice de actividad beta total en muestras de agua; y procedimientos sobre equipos de espectrometría gamma.

Se encuentran en una fase inicial los procedimientos sobre equipos de centelleo líquido y de espectrometría alfa.

CURSOS Y SEMINARIOS

Aplicación de códigos termohidráulicos

Bajo el título *OECD/CSNI Workshop on advanced thermalhydraulic and neutronic codes: current and future applications*, está prevista la celebración en Barcelona de una reunión-taller, centrada en los usos actuales y perspectivas de aplicación de los códigos termohidráulicos de última generación. Asistirán expertos de reconocido prestigio y permitirá debatir ampliamente sobre numerosos temas de actualidad en la aplicación de dichas herramientas.

La reunión, que se celebrará desde el 10 al 13 de abril del 2000, está patrocinada conjuntamente por el CSN y el CNSI, actuando la Universidad Politécnica de Cataluña como anfitrión. Más información en: <http://www.csn.es/information/bcn2000.html>.

PUBLICACIONES

Plan coordinado de investigación CSN-Unesa. Informe de situación de los proyectos

Diciembre, 1998

Este informe pretende que el lector obtenga rápido conocimiento, mediante un conjunto de fichas precisas, de la situación de los proyectos del Plan Coordinado de Investigación (PCI) CSN/Unesa. La información suministrada se estructura en los apartados siguientes: datos técnicos, datos económicos, cronograma e informe de situación, y documentación e informes realizados. Se refiere un total de 28 informes de las áreas de seguridad nuclear, protección radiológica y gestión de residuos.

Utilización de energía nuclear para producir electricidad

CSN, Serie divulgativa

Se trata de la reedición de una publicación de la serie divulgativa del CSN, que en 20 páginas presenta de manera sencilla los aspectos básicos de la fisión nuclear, la seguridad o los elementos de una central nuclear que fundamentan la producción de energía eléctrica de forma fiable y segura.

III Jornada sobre resultados del Plan de Investigación del CSN

Consejo de Seguridad Nuclear, Colección Otros Documentos nº 15, 1999

Con el fin de difundir los resultados que los proyectos de investigación del CSN van generando, esta publicación recoge las diversas ponencias que fueron presentadas en el CSN el pasado 10 de diciembre de 1998, estructuradas en dos partes: la primera sobre seguridad nuclear, con cinco temas tratados, y la segunda sobre protección radiológica, con cuatro. ⑤

(Page 2)

**Safety management:
new challenges**

● José Ignacio Villadóniga

The liberalization of the electrical sector and growing levels of demand from citizens are forcing the use of more advanced management techniques. In this article, the author explains how safety management has involved and its implications both for regulatory agencies and for facility owners.

(Page 8)

**Environmental radiology
monitoring in the European
Union and Spain**● Lucila María Ramos and
Rosario Salas

This article describes the environmental radiology surveillance as performed in the European Union in order to comply with articles 35 and 36 of the Euratom treaty. Specific programmes currently being undertaken in Spain are detailed, as are the extensions provided for.

Resúmenes

(Page 16)

**The Scale of Events in
Radioactive Facilities**● Mónica Alonso, María Luisa
Ramírez and Fernando Zamora

As in nuclear facilities, the population demands swift, understandable information on the events of a certain significance in radioactive facilities. For this information to be issued and received objectively, the authors propose developing a scale of events in radioactive facilities based on the principles of the INES but adapted to the peculiarities of that area.

(Page 24)

**Close-down authorization
as a nuclear safety barrier**

● Manuel Perelló

Apart from evidencing the administrative proceedings for close-down

authorization as introduced into the Act Setting up the Nuclear Safety Council, this article demonstrates how such close-down authorization is one more legal safety action (*barrier*). The text also evidences that dismantling is not the only solution to closing down all nuclear and radioactive facilities.

(Page 29)

**Radiocarcinogenesis:
two new experimental
approaches**● María Asunción Díez, Almudena
Real, Cristina Bauluz and Rosa
de Vidania

Every year, around 10,000 pupils will visit the CSN's Information Centre, an exposition area which was created with the intention of explaining simply but strictly, what radiations are, for what they are used, what risks they hold and how they are controlled. Opened in October, 1998, encouraged by Parliamentary urging, the Centre is a path to CSN information for citizens to use.

Seguridad Nuclear Boletín de suscripción

Institución/Empresa

Nombre

Tel.

Fax

Dirección

CP

Localidad

Provincia

Fecha

Firma

Enviar a Consejo de Seguridad Nuclear, Servicio de Publicaciones. c/ Justo Dorado, 11. 28040 Madrid. Número de fax: 91 346 05 58.



Justo Dorado, C.I.
28040 Madrid