

Revista del CSN / Número 26
I Trimestre 2003

Seguridad Nuclear



**Necesidades de investigación
en materiales para reactores avanzados**

Radiofármacos de uso humano

Fermi y la seguridad nuclear

**La seguridad nuclear en el marco
de la Unión Europea**

La seguridad de las fuentes radiactivas

Clifford G. Shull y Bertram N. Brockhouse

Seguridad Nuclear

Revista del CSN

Año VII / Número 26

I Trimestre 2003

Directora

María-Teresa Estevan Bolea

Comité de redacción

José Ángel Azuara Solís

Julio Barceló Vernet

Carmen Martínez Ten

Paloma Sendín de Cáceres

Antonio Morales Plaza

Ana Villuendas Adé

Consejo de**Seguridad Nuclear**

Justo Dorado, 11

28040 Madrid

Tf. 91 346 04 24

Fax 91 346 05 58

www.csn.es

Coordinación editorial

RGB Comunicación

Princesa 3, dpdo.

28008 Madrid

Tf. y Fax 91 542 79 56

Impresión

Artes Gráficas Gaez, S.A.

Carretera Antigua de

Valencia, km. 25,2

28500 Arganda del Rey

(Madrid)

Tf. 91 876 04 08

Fax 91 871 41 45

ISSN: 1136-7806

D. Legal: M. 31.281-1996

Portada: Sentimental Journey (José María Cerezo)

Las opiniones y conceptos recogidos en esta publicación son de responsabilidad exclusiva de sus autores, sin que la revista *Seguridad Nuclear* los comparta necesariamente.

1

Editorial

2

Artículos técnicos

Necesidades de investigación en materiales para reactores avanzados

● Charles A. Greene, Joseph Muscara y Makuteswara Srinivasan

5

Radiofármacos de uso humano: marco legal e indicaciones clínicas autorizadas en España

● A. Cortés-Blanco y J. Esteban Gómez

16

Fermi y la seguridad nuclear

● Vicente Alcober Bosch

28

Artículos divulgativos

La seguridad nuclear en el marco de la Unión Europea

43

La seguridad de las fuentes radiactivas

● Mohamed ElBaradei

46

Grandes figuras de la ciencia nuclear y radiactiva

Clifford G. Shull y Bertram N. Brockhouse

48

Actualidad

Centrales nucleares / Otros acuerdos del Pleno del CSN / Actuaciones en emergencias / Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento / Instalaciones radiactivas

55

Noticias breves

60

Resúmenes

La seguridad nuclear en la UE

E

n noviembre de 2002, la Comisión Europea propuso un paquete de medidas destinadas a dotar a la Unión Europea de un auténtico enfoque comunitario de la seguridad nuclear, que incluye la gestión del combustible gastado y de los residuos de baja y media actividad, así como la seguridad de abastecimiento; es el denominado “paquete nuclear” que el Consejo de Ministros de Energía examinará en el Consejo griego, en mayo.

La Comisión Europea entiende que la UE precisa una actuación coherente en este sector, más necesaria aún desde la perspectiva de la ampliación con diez nuevos Estados miembros, ya muy cercana.

La UE adoptó en el marco del Tratado Euratom, firmado en 1957, un importante dispositivo jurídico en materia de seguridad nuclear, caracterizado, en particular, por la creación de un servicio de inspección de las instalaciones nucleares a nivel europeo. A pesar de la misión primordial del Tratado Euratom de velar por la explotación de las instalaciones nucleares en buenas condiciones de seguridad, desde entonces no se había desarrollado norma alguna en la materia.

En el marco de la ampliación, el Consejo Europeo de Colonia, de junio de 1999, pidió a la Comisión que velara por la aplicación de unas normas de seguridad elevadas en Europa Central y Oriental. El Consejo Europeo de Laeken, celebrado en diciembre de 2001, solicitó por su parte que se presentaran, de forma periódica, informes relativos al estado de la seguridad nuclear en la UE. Por consiguiente, se estima indispensable un nuevo marco de referencia comunitario sobre las normas de seguridad nuclear.

Por ello, la Comisión está tramitando, en el marco del Tratado Euratom, nuevas directivas que se refieren a la seguridad de las instalaciones nucleares en explotación y en vías de desmantelamiento, a la gestión de los residuos radiactivos y al comercio de materiales nucleares con Rusia y que prevén el establecimiento de normas comunes y mecanismos de control que garanticen la aplicación uniforme de criterios idénticos de seguridad con fuerza jurídica en todo el territorio de la UE.

Charles A. Greene, Joseph Muscara, Makuteswara Srinivasan*

Necesidades de investigación en materiales para reactores avanzados

Los componentes metálicos y de grafito utilizados en los reactores avanzados de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR) pueden experimentar alteraciones físico-químicas, sufrir daños por irradiación y alteraciones mecánicas. Su fallo podría poner en entredicho la seguridad de

estos reactores, al afectar a la integridad del sistema de control de presión, a la geometría del núcleo o a su refrigeración, entre otros aspectos. Este artículo analiza el trabajo que actualmente está haciendo la Comisión de Regulación Nuclear de EEUU sobre esta cuestión.

Los componentes metálicos y de grafito utilizados en los reactores avanzados de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR) pueden experimentar problemas de fluencia, fatiga, oxidación, envejecimiento, grietas de corrosión, daños por irradiación y cambios dimensionales. El funcionamiento seguro de los reactores de este tipo, por ejemplo los reactores modulares de lecho de bolas y el reactor modular de turbina de gas refrigerado con helio, depende, en gran medida, de la integridad a largo plazo de los componentes metálicos y de grafito necesarios para mantener la integridad del sistema de control de presión, la geometría del núcleo, una adecuada refrigeración del núcleo, el control de la reactividad y los sistemas de desconexión. El fallo de estos componentes puede producir consecuencias negativas.

En condiciones normales y de diseño, los componentes del HTGR son sometidos a altas temperaturas (de 300°C a 1.400°C para el grafito y de 300°C a 950°C para los componentes metálicos), y a altas fluencias (del orden de $2-3 \times 10^{22}$ n/cm² para el grafito). Aunque el helio es un refrigerante inerte, el caudal de este gas puede contener pequeñas

cantidades de impurezas, entre ellas oxígeno, que aceleran el inicio y el avance de la degradación de los componentes. En la actualidad, las normas y códigos de diseño para componentes metálicos de alta temperatura se basan en los conocimientos adquiridos a lo largo de veinte años de estudios realizados en entornos de reactores reproduc-

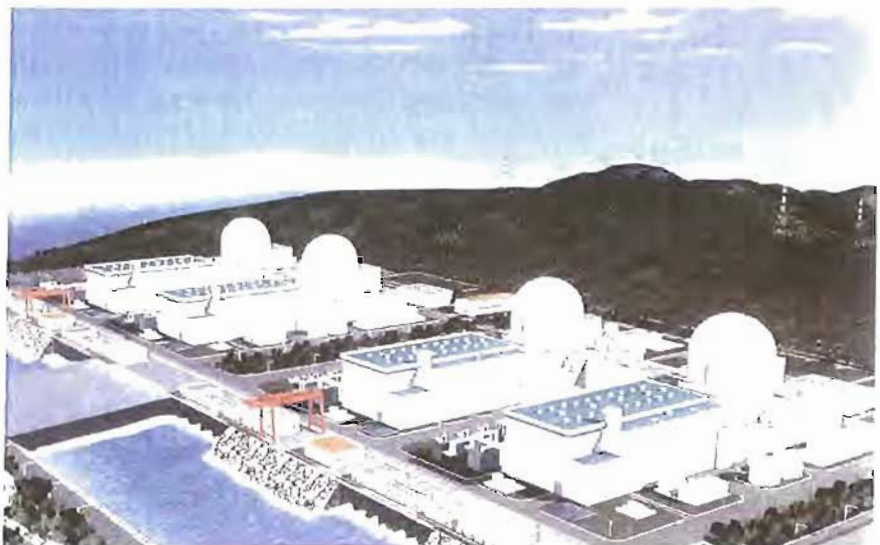


Figura 1. Imagen virtual de la futura central de Shin-Kori que se está construyendo en Corea. Se trata de un reactor avanzado de agua ligera, del tipo APR 1400.

*Los autores pertenecen a la Oficina de Investigación de Regulación Nuclear de la Comisión de Regulación Nuclear de EEUU.

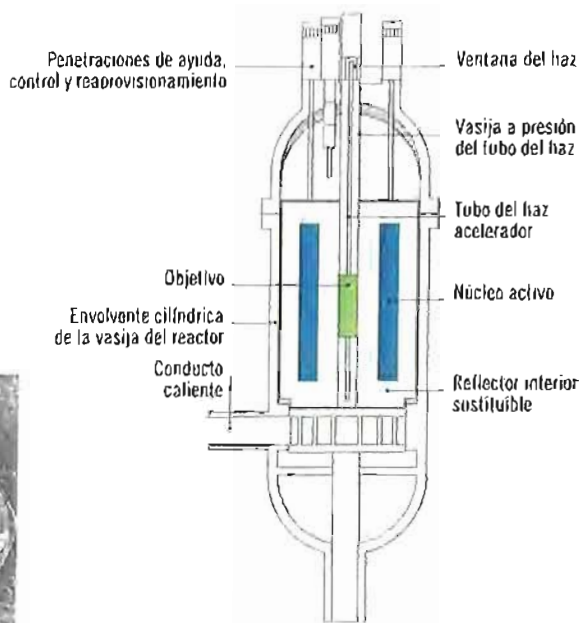


Figura 2. Esquema del reactor avanzado de alta temperatura refrigerado por gas (HTGR), de General Atomics, e imagen de uno de sus elementos combustibles.

tores rápidos de metal líquido, que no reflejan de forma adecuada las condiciones de trabajo y los mecanismos de degradación de los componentes de un HTGR. Debido a la falta de normas y códigos de diseño consensuados a escala internacional, en el diseño de los componentes de grafito se han utilizado cálculos locales y códigos dictados por la costumbre. La información disponible debe actualizarse. Es preciso desarrollar datos aplicables a los grafitos que se utilizan en los reactores propuestos, en lugar de utilizar datos de grafitos que pueden haberse utilizado con anterioridad, pero que ya no se encuentran disponibles. Puesto que las propiedades de los materiales irradiados de grafito exhiben una fuerte dependencia con las materias primas y los procesos de fabricación utilizados, los fundamentos técnicos desarrollados para los grafitos antiguos pueden no ser apropiados para los nuevos grafitos que se utilizan en los HTGR.

Es necesario un esfuerzo de I+D en las siguientes áreas clave, con el fin de caracterizar mejor el comportamiento y las aplicaciones de los materiales en las condiciones de funcionamiento del reactor

y en situaciones de accidente. Las áreas clave son:

- Información necesaria para el desarrollo de normas y códigos nacionales para el diseño y la fabricación de componentes metálicos y de grafito de uso en entornos HTGR.

- Bases de datos adecuadas para calcular la fatiga, la fluencia y la vida útil en condiciones de fatiga-fluencia de los componentes en aplicaciones a alta temperatura.

- Caracterización de los efectos de las impurezas, incluido el oxígeno, presentes en el helio a alta temperatura en la degradación de los componentes. Sensibilización y envejecimiento de las aleaciones expuestas a ciclos de alta temperatura.

- Degradación por carburación, descarburación y oxidación de los componentes metálicos de los HTGR.

- Aspectos relacionados con la inspección de los componentes de reactores avanzados.

- Rendimiento a largo plazo y degradación del grafito y de materiales nuevos empleados en recipientes a presión de reactores, sometidos a altos niveles de irradiación.

- Modelo y metodología capaz de predecir las propiedades del grafito irradiado a partir de las propiedades del material no irradiado.

- Conocimiento en profundidad de los mecanismos y velocidades dominantes en la oxidación del grafito.

En la mayoría de los reactores avanzados de agua ligera (ALWR), las condiciones de funcionamiento, los materiales y los entornos de refrigeración no son significativamente diferentes de los de los reactores convencionales de agua ligera (LWR). A la vista de las similitudes de materiales y entornos, no parece muy necesario abordar nuevas investigaciones en el área de materiales aplicados a ALWR. No obstante, algunos ALWR pueden emplear combinaciones de materiales y entornos diferentes de los utilizados en los LWR convencionales. En estos casos, sí pueden resultar necesarias nuevas investigaciones para evaluar la compatibilidad de los materiales en sus entornos de funcionamiento. Existen dos aspectos de los HTGR y de algunos diseños de ALWR que aumentan la necesidad de mejorar los programas de inspección en servicio (ISI) y de seguimiento continuo. El primero, en los recipientes a presión se introducen más componentes, que dificultan el acceso con fines de inspección. El segundo aspecto es la mayor extensión de los ciclos de funcionamiento entre paradas programadas, de corta duración o por recargas, durante las cuales pueden realizarse las ISI. Ambos aspectos ponen de manifiesto la necesidad de evaluar la efectividad de unas ISI menos frecuentes, y posiblemente menos exhaustivas, a la hora de detectar grietas y degradación de los componentes. Una alternativa a la realización de inspecciones periódicas en servicio, durante los periodos de parada del reactor, son las inspecciones en continuo con el reactor en funcionamiento, el seguimiento no des-



► Figura 3. Vista aérea de las unidades 5, 6 y 7 de la central nuclear de Kashiwazaki-Kariwa (Japón). Las dos últimas (centro e izquierda de la imagen) son centrales avanzadas del tipo ABWR, de tecnología General Electric.

tructivo de la integridad estructural y la detección de fugas en la totalidad del reactor o de determinados componentes durante la operación. Se han desarrollado, validado y codificado técnicas de seguimiento en continuo para su uso en LWR. Si se llega a la conclusión de que las ISI dirigidas a HTGR y ALWR son inadecuadas, puede ser preciso decantarse por el seguimiento en continuo. Las técnicas de seguimiento en continuo deberán evaluarse y validarse en función de los materiales, entornos y mecanismos de degradación de los HTGR y ALWR.

Para realizar evaluaciones de riesgos probabilísticos independientes en reactores avanzados, será necesario obtener información sobre la probabilidad de fallo de diferentes componentes del reactor. Debido a la falta de experiencia de funcionamiento, esta información debe desarrollarse de forma analítica utilizando mecanismos probabilísticos de fractura. Para ello es necesario identificar a su vez los mecanismos de degradación potencial de componentes metálicos y de grafito, así como evaluar la progresión de la degradación cuantificada

en condiciones de funcionamiento de reactores.

La Comisión Reguladora Nuclear de EEUU está desarrollando dos programas de investigación para establecer las bases técnicas relativas al comportamiento de los componentes metálicos y de grafito de los HTGR. El objetivo de estos programas consiste en revisar y evaluar los procedimientos, normas y códigos (internacionales) disponibles en la actualidad que pueden utilizarse en el diseño de los HTGR, además de revisar y evaluar los materiales que se emplean en los entornos HTGR. Se identificarán los materiales que ya se han empleado en reactores HTGR y los que se tiene intención de utilizar, y también se identificarán las condiciones que pueden afectar a las propiedades de dichos materiales, como pueden ser el entorno y la geometría. Tras la revisión y evaluación, los mejores procedimientos, normas, y códigos existentes se actualizarán, incorporando las correlaciones y modelos desarrollados en las investigaciones más recientes. Esta revisión servirá para evaluar si los procedimientos y reglas de diseño de los

códigos actuales son adecuados, y permitirá identificar las mejoras necesarias. Por otro lado, se está desarrollando una especificación de materiales para el grafito de calidad nuclear.

Para paliar la escasez de resultados de pruebas y experiencias con HTGR, y la amplitud del programa de pruebas experimentales necesario para sentar unas bases técnicas fiables del comportamiento y la duración esperada de los componentes metálicos y de grafito en los entornos HTGR, se están llevando a cabo programas de cooperación internacional. Esta actividad internacional tiene el objetivo de reunir resultados de investigaciones dedicadas a la caracterización y análisis del rendimiento de los materiales y la integridad de los componentes en entornos HTGR. Este documento discute las lagunas de información que existen en términos de herramientas de análisis y falta de datos, y describe la labor investigadora necesaria para establecer una comprensión técnica aceptable del comportamiento de los componentes metálicos y de grafito en los reactores avanzados. Ⓢ

Radiofármacos de uso humano: marco legal e indicaciones clínicas autorizadas en España

La incorporación de los radiofármacos a la legislación sanitaria supuso un cambio importante debido a la obligatoriedad de someterse, por primera vez, a un proceso de registro que permitiera su comercialización.

Además sirvió para regular la investigación clínica que se lleva a cabo con estos medicamentos y la evaluación previa a la que se someten para obtener la autorización sanitaria de la Administración.

1. Introducción de los radiofármacos de uso humano en la práctica clínica

Los radiofármacos son medicamentos que han adquirido gran importancia en la práctica clínica por su aplicación con fines diagnósticos y terapéuticos. Contienen una pequeña cantidad de principio activo, conocido como "trazador", que se marca con un radionúclido haciendo que emitan una dosis de radiación utilizada tanto con fines diagnósticos como terapéuticos. Desde el punto de vista diagnóstico, la radiación emitida se utiliza para medir su distribución en un compartimento biológico, como indicador de una función fisiológica, o para obtener una imagen gammagráfica de la acumulación del radiofármaco en un órgano dia-

na, lo que permite determinar la morfología y/o función de dicho órgano.

La utilización de la radiactividad con fines científicos y médicos se remonta al descubrimiento de la radiactividad del uranio en 1896 por Becquerel, y de la radiactividad natural por Marie Curie en 1898. A principios del siglo XX se originaron grandes avances en este campo, destacando la introducción del concepto de isotopía, de las modificaciones que sufren los elementos químicos debidas a la desintegración nuclear y de las técnicas de trazadores en la investigación biológica. La construcción del primer ciclotrón en 1930 supuso el inicio de la producción de radionúclidos (Croll, 1996; Lawrence, 1935), un logro importante teniendo en cuenta que todos los radionúclidos utilizados en la práctica clínica son artificiales. En 1934 los esposos I. Curie y F. Joliot descubrieron la radiactividad artificial (Croll, 1996; Curie y Joliot, 1934).

Las aplicaciones médicas de los isótopos radiactivos comienzan, en sentido estricto, en 1938 con estudios sobre la fisiología de la glándula tiroides con radioyodo (Beierwaltes, 1979; Castell, 1993) y con el primer uso clínico de un radioisótopo artificial con fines terapéuticos, el fosfato de sodio (^{32}P), en un paciente con leucemia (Croll, 1996). Este uso terapéutico fue un hecho importantísimo en el progreso de la terapia con radionúclidos.

Otro acontecimiento importante en la medicina nuclear fue el uso del yoduro de sodio (^{131}I) en la enfermedad tiroidea (Croll, 1996). Se utilizó ^{131}I en pacientes con bocio tóxico y no tóxico, y en 1941 se administró la primera dosis terapéutica de ^{131}I . En 1946 se publicó la desaparición de múltiples metástasis tiroideas funcionantes en un paciente que había sido tratado con radioyodo, lo que supuso que en EEUU se considera prioritario proporcionar radioisótopos para la curación del cáncer. Aunque los es-

*A. Cortés-Blanco y J. Esteban Gómez son, respectivamente, asesora clínica y jefa de sección de la Subdirección General de Medicamentos de Uso Humano. División de Farmacología y Evaluación Clínica, de la Agencia Española del Medicamento.

fuerzas iniciales con ^{131}I se dirigieron a su uso terapéutico, se extendió su empleo para diagnosticar enfermedades del tiroides basándose en la localización del radionúclido en el órgano.

En los años sucesivos se intensificó la investigación y desarrollo de nuevos radionúclidos y radiofármacos para uso con los nuevos dispositivos de imagen. El acontecimiento más destacado de esta era, en el ámbito de la medicina nuclear, fue el descubrimiento y posterior desarrollo del tecnecio ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), que estaba destinado a ser el radionúclido más utilizado hasta el momento, por presentar la energía de imagen ideal, vida media corta y ser capaz de unirse a múltiples compuestos (Croll, 1996). En 1960 se diseñó un generador que permitía obtener radionúclidos de vida corta de forma asequible. Tras la aparición del generador de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se logró disponer de una profusión de compuestos marcados con $^{99\text{m}}\text{Tc}$: sulfuro coloidal marcado con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ para la gammagrafía hepatoesplénica, pertecnetato de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ para gammagrafía tiroidea, y sustitución del ^{131}I por $^{99\text{m}}\text{Tc}$ en la gammagrafía cerebral con albúmina sérica humana yodada. Esta proliferación de radiofármacos marcados con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ha continuado hasta nuestros días.

Los primeros radiofármacos para estudiar el sistema cardiovascular se aplicaron en 1926 (Croll, 1996). La radiocardiografía se desarrolló a partir de 1948 (Prinzmetal *et al*, 1948), y en 1962 se comenzó a disponer de imágenes de infartos miocárdicos. Posteriormente se logró a medir la función ventricular mediante un bolo de pertecnetato de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, y a estudiar la perfusión miocárdica utilizando el cloruro de talio (^{201}Tl). La historia ha demostrado que el ^{201}Tl se ha convertido en el radionúclido más utilizado en cardiología nuclear y es responsable directo del rápido crecimiento y establecimiento de la medicina nuclear cardiovascular.

En los años sucesivos aparecieron nuevos trazadores y nuevas técnicas. Por su ulterior importancia deben destacarse la exploración de las glándulas suprarrenales con norcolecosterol yodado (^{131}I) (1969), el diagnóstico de tumores con citrato de galio (^{67}Ga) (1970), la gammagrafía ósea con polifosfatos marcados con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (1971) y la detección del infarto agudo de miocardio con pirofosfatos marcados con $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (1974).

En las últimas décadas del siglo XX y comienzos del siglo XXI se han desarrollado nuevas técnicas en el campo de la medicina nuclear, como la tomografía por emisión de fotón único (SPECT) o por emisión de positrones (PET). Estos avances han originado la aparición de nuevos radiofármacos o nuevas indicaciones para radiofármacos ya existentes. Las primeras imágenes de PET publicadas en humanos se consiguieron en 1974 utilizando amoníaco (^{13}N), agua (^{15}O) y glucosa marcada con ^{11}C como radiofármacos para obtener imágenes del flujo sanguíneo, consumo de oxígeno y metabolismo glicídico, y fluoruro de sodio (^{18}F) para realizar un rastreo óseo (Hoffman *et al*, 1976; Phelps *et al*, 1976). Otros avances históricos han sido el desarrollo de la técnica PET con fludesoxiglucosa (^{18}F) (1976-1980), la aplicación de sistemas de síntesis automatizada de radiofármacos PET (1984-1986) y la autorización de comercialización de la fludesoxiglucosa (^{18}F) por las autoridades sanitarias (Nutt, 2002). A este respecto, la U.S. Food and Drug Administration, la agencia de evaluación de medicamentos de EEUU, conocida por su acrónimo inglés FDA, autorizó la comercialización de la fludesoxiglucosa (^{18}F) en 1997 para identificar regiones con alteración del metabolismo glicídico asociado con focos epilépticos (*Positron Emission Tomography Drug Products: Safety and Effectiveness of Certain PET Drugs for Specific Indications*, FDA 2000). En el año

2000 la FDA autorizó la indicación de la fludesoxiglucosa (^{18}F) para uso clínico amplio en oncología y valoración de la hibernación miocárdica, el amoníaco (^{13}N) como trazador de flujo coronario y el fluoruro de sodio (^{18}F) como trazador óseo (Nutt, 2002).

2. Marco legal que afecta a los radiofármacos de uso humano en la práctica clínica

2.1. Necesidad de regulación

Es a partir de la Segunda Guerra Mundial, cuando se inicia en los países occidentales la producción artificial de isótopos radiactivos y cuando se desarrolla realmente su aplicación clínica, que ha ido evolucionando y perfeccionándose hasta nuestros días. Es en esa época cuando aparecen las primeras regulaciones tendentes a su control, orientadas fundamentalmente a los aspectos de la protección radiológica, debido, sobre todo, a su potencial peligrosidad.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica es el organismo que establece las directrices en el campo de la protección radiológica, para lo cual emite una serie de recomendaciones que luego cada país adapta e incorpora a su normativa legal. Hay otros organismos que también llevan a cabo recomendaciones en este terreno como la Agencia Internacional de Energía Atómica, la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM), etcétera.

Son muchas las regulaciones que existen a nivel internacional y nacional en materia de seguridad nuclear, que se agrupan en leyes, reglamentos, directivas comunitarias y guías del Consejo de Seguridad Nuclear. Sin embargo, no haremos referencia a ellas, por considerar que son ampliamente conocidas teniendo en cuenta el ámbito de esta publicación.

Esta sección se centra en la legislación sanitaria de los radiofármacos que les es aplicable, en tanto en cuanto son sustancias que se

administran a las personas con fines diagnósticos y terapéuticos y que, por tanto, son considerados a todos los efectos como medicamentos.

2.1.1. Normativa sanitaria comunitaria

Las primeras regulaciones tendientes a considerar a los radiofármacos como sustancias medicinales surgen en los años sesenta, cuando Bélgica y Gran Bretaña establecen el registro sanitario como condición necesaria para poder llevar a cabo su comercialización y uso. Este requisito fue también asumido, años después, por Dinamarca, Francia, Alemania, Suiza y Suecia. Sin embargo, otros países, entre ellos España, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo y Portugal no los consideraron medicamentos y los eximieron, por tanto, de la necesidad de dicho registro sanitario, mientras que en Holanda se les dio la consideración de productos medicinales pero exentos de registro.

A nivel comunitario se publican, en estos años, una serie de directivas encaminadas a la unificación legislativa sobre el registro de medicamentos. Son las directivas 65/65/CEE, 75/318/CEE, y 75/319/CEE, de las que quedaron excluidos los radiofármacos, debido a sus peculiaridades, lo que favoreció la diferente evolución normativa de estos productos en los distintos países.

En los años ochenta se publica la Directiva 87/22/CEE, por la que se aproximan las medidas nacionales relativas a la comercialización de medicamentos de alta tecnología, en particular los obtenidos por biotecnología, que incluye dentro de su ámbito de aplicación a los medicamentos nuevos a base de radioisótopos y a los derivados de anticuerpos monoclonales, obligándoles a someterse a un registro sanitario para posibilitar su comercialización.

La Directiva 89/343/CEE, por la que se amplía el ámbito de apli-

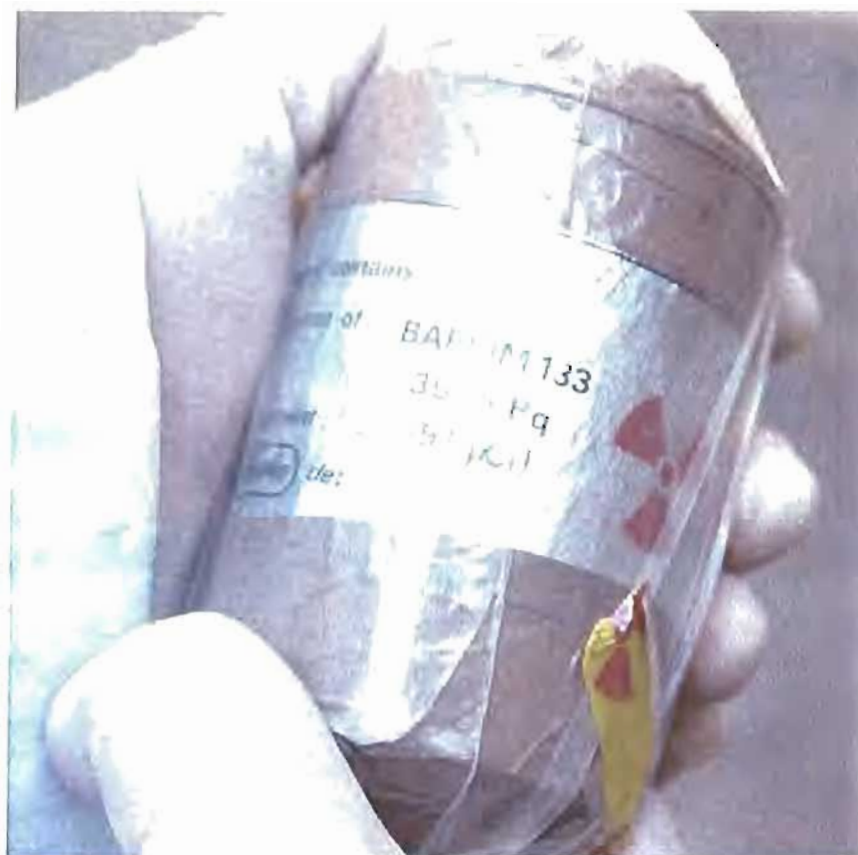


Figura 1. El bario se utiliza como contraste en las placas de rayos X.

cación de las directivas 65/65/CEE y 75/318/CEE y se adoptan disposiciones complementarias sobre radiofármacos, los incorpora definitivamente a la legislación farmacéutica comunitaria, exigiéndoles idénticos requisitos que al resto de medicamentos con las peculiaridades propias debido a su naturaleza radiactiva. La citada directiva los agrupa en cuatro categorías diferentes: radiofármaco, generador, equipo reactivo y precursor, y excluye de la consideración de medicamento a los radionúclidos en forma de fuentes selladas. También estableció un plazo para que todos los radiofármacos existentes en ese momento en el mercado se adaptaran a las exigencias del registro sanitario, que finalizaba el 31 de diciembre de 1992.

Las directivas 65/65/CEE, 75/318/CEE, 75/319/CEE y 89/343/CEE antes mencionadas y sus modificaciones sucesivas están actualmente derogadas e integradas en un único documento que es la Directiva 2001/83 del Parlamen-

to Europeo y del Consejo, por la que se establece un código comunitario sobre medicamentos para uso humano.

2.1.2. Normativa sanitaria nacional

En nuestro país, es la Ley 25/1990, de 20 de diciembre, del Medicamento (Sección VI, artículos 51, 52 y 53), la que por primera vez otorga a los radiofármacos tal consideración y los somete, por tanto, al cumplimiento de toda la legislación farmacéutica como al resto de los medicamentos.

Como desarrollo de la Ley 25/1990 y transposición de la Directiva 89/343/CEE, antes mencionadas, se publica en nuestro país el Real Decreto 479/1993, de 2 de abril por el que se regulan los medicamentos radiofármacos de uso humano. Este real decreto establece los requisitos necesarios para garantizar la observancia de los criterios de seguridad, eficacia y calidad de la autorización, producción y control de los radiofárma-



► Figura 2. Jeringuillas para administración de radiofármacos.

cos, así como los criterios para la utilización de un radiofármaco preparado en el momento de su uso.

Además del Real Decreto 479/1993, la utilización clínica de los radiofármacos en España debe cumplir las medidas legales sobre protección contra las radiaciones ionizantes de las personas sometidas a exámenes o tratamientos médicos o para la protección de la salud pública y de los trabajadores.

2.2. Procedimiento especial de registro llevado a cabo con los radiofármacos

La consideración de medicamento que las disposiciones legales otorgaron a los radiofármacos supuso un cambio radical, para este tipo de productos, sobre todo por la obligación de someterse a un procedimiento de registro que les facultara para poder ser legalmente comercializados y utilizados.

La normativa sobre medicamentos establece que ningún medicamento tendrá la consideración de

especialidad farmacéutica, ni en consecuencia podrá ser puesto en el mercado como tal, sin la previa autorización sanitaria de la Administración del Estado e inscripción simultánea en el Registro de Especialidades Farmacéuticas. Sin embargo, la situación de los radiofármacos era peculiar cuando se publicó la norma, puesto que llevaban ya años utilizándose en la mayoría de los países occidentales, muchos estaban descritos en la Farmacopea Europea, y algunos ya contaban con un registro sanitario como medicamento en algunos países europeos.

Ante esta situación se estableció, a nivel comunitario, un procedimiento especial de registro denominado *Procedimiento de Registro Abreviado Coordinado*, al que podían acogerse todos los productos radiofarmacéuticos comercializados antes de 1992 que hubiesen estado registrados en algún país comunitario o bien contaran con una monografía en la Farmacopea Europea.

El procedimiento establecía unos plazos para la presentación de la documentación de registro, que debía estructurarse en diversos apartados:

— Parte I: Datos administrativos (IA) y resumen de las características del producto e informes de expertos (IB).

— Parte II: Desarrollo farmacéutico.

— Parte III: Datos fármaco-toxicológicos.

— Parte IV: Datos clínicos.

— Parte V: Muestras y material de acondicionamiento.

Dado que muchos productos eran iguales en todos los países comunitarios y que además eran ya por su uso ampliamente conocidos, se acordó admitir que la eficacia y seguridad de los mismos (partes III y IV) se justificasen mediante revisiones bibliográficas. Por tanto, cada expediente de registro constaba de unas partes específicas (partes IA, II y V) y otras comunes (partes IB, III y IV).

► Tabla 1. Indicaciones diagnósticas de los radiofármacos de uso humano marcados con tecnecio (^{99m}Tc) autorizadas actualmente en España.

Principio activo	Indicaciones diagnósticas
Albúmina humana y tecnecio (^{99m}Tc)	— Visualización del volumen sanguíneo, angiocardioyagrafía y ventriculografía
Arcitumomab (fragmentos de anticuerpo monoclonal ANTI-CEA IMMU-4-Fab) (^{99m}Tc)	— Visualización de recidivas o metástasis en pacientes con carcinoma de colon o recto confirmado histológicamente como coadyuvante a las exploraciones de imagen no invasiva normales, como ecografía o TC, en las siguientes situaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Pacientes con evidencia de recidiva y/o carcinoma metastásico de colon o recto, con objeto de determinar la extensión de la enfermedad. • Pacientes con sospecha de recidiva y/o carcinoma metastásico de colon o recto asociado a incremento de los niveles de antígeno carcinoembrionario (CEA)
Betiárida (^{99m}Tc)	— Evaluación de patologías nefrológicas y urológicas, en particular para el estudio de la morfología, perfusión y función renales y caracterización del flujo urinario
Bicisato de tecnecio (^{99m}Tc)	— Gammagrafía para evaluar alteraciones de la perfusión cerebral regional en pacientes adultos con trastornos del sistema nervioso central
Coloides de albúmina y tecnecio (^{99m}Tc), microcoloides	— Gammagrafía hepatoesplénica
Coloides de albúmina y tecnecio (^{99m}Tc), milimicroesferas	— Vía intravenosa: gammagrafía hepatoesplénica — Administración en aerosol: estudio de las vías respiratorias
Coloides de albúmina y tecnecio (^{99m}Tc), nanocoloides	— Vía intravenosa: <ul style="list-style-type: none"> • Gammagrafía de la médula ósea • Estudio de lesiones inflamatorias extraabdominales — Vía subcutánea: Linlogammagrafía — Administración en aerosol: <ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico de embolismo pulmonar en combinación con estudios de perfusión • Evaluación semicuantitativa de la ventilación pulmonar
Crisol de grafito para preparación de Technegas para inhalación	— Diagnóstico de embolismo pulmonar
Depreótida (^{99m}Tc)	— Para gammagrafía de tumores malignos en pulmón tras detección inicial en combinación con TC y Rayos X, en pacientes con nódulos pulmonares solitarios
Estaño coloidal y tecnecio (^{99m}Tc)	— Imagen del sistema reticuloendotelial del hígado y bazo
Estaño metronato de tecnecio (^{99m}Tc) o Sn-MDP(^{99m}Tc) para marcaje celular	— Marcaje <i>in vivo</i> o <i>in vivo/in vitro</i> de eritrocitos para: <ul style="list-style-type: none"> • Angiogramografía, angiocardioyagrafía y estudios de perfusión miocárdica • Diagnóstico y localización de hemorragia gastrointestinal oculta
Exametazima de tecnecio (^{99m}Tc)	— Gammagrafía cerebral. Diagnóstico de anomalías del flujo sanguíneo cerebral regional como las que ocurren después de un ictus u otras enfermedades cerebrovasculares, epilepsia, enfermedad de Alzheimer u otras formas de demencia, ataques isquémicos transitorios, migrañas o tumores cerebrales — Marcaje <i>in vitro</i> de leucocitos con tecnecio (^{99m}Tc) para detección de focos infecciosos, investigación de la fiebre de origen desconocido y evaluación de patologías inflamatorias no asociadas a infecciones (como la enfermedad inflamatoria intestinal)
Exametazima de tecnecio (^{99m}Tc) estabilizado con cobalto	— Gammagrafía cerebral
Fítato y tecnecio (^{99m}Tc)	— Gammagrafía hepática
Generador de tecnecio (^{99m}Tc)	— El eluido del generador puede utilizarse para marcaje de equipos reactivos o administración directamente <i>in vivo</i> . El eluido se utiliza: <ul style="list-style-type: none"> • Vía intravenosa para: <ul style="list-style-type: none"> — Gammagrafía tiroidea — Gammagrafía de glándulas salivares — Localización de mucosa gástrica ectópica — Gammagrafía cerebral • Marcaje de eritrocitos para: <ul style="list-style-type: none"> — Angiogramografía, cardiogramografía y estudios de perfusión miocárdica — Diagnóstico y localización de hemorragia gastrointestinal oculta • Instilación ocular: Gammagrafía del conducto lagrimal

Nota: Los principios activos se han renombrado conforme la Real Farmacopea Española si procede.

● Tabla 1 (continuación). Indicaciones diagnósticas de los radiofármacos de uso humano marcados con tecnecio (^{99m}Tc) autorizadas actualmente en España.

Principio activo	Indicaciones diagnósticas
Macroagregados de albúmina y tecnecio (^{89m}Tc)	— Gammagrafía pulmonar de perfusión — Flebogammagrafía
Medronato de tecnecio (^{99m}Tc) o MDP(^{99m}Tc)	— Gammagrafía ósea
Oxidronato de tecnecio (^{99m}Tc) o HDP(^{99m}Tc)	— Gammagrafía ósea
Pentetato de tecnecio (^{99m}Tc) o DTPA(^{99m}Tc)	— Vía intravenosa: <ul style="list-style-type: none"> • Gammagrafía renal dinámica para estudios de perfusión, función y del tracto urinario • Determinación del filtrado glomerular • Angiogammagrafía cerebral y tomogammagrafía cerebral — Administrado en aerosol (inhalaación): estudio de ventilación pulmonar — Vía oral: estudios de reflujo gastroesofágico y vaciamiento gástrico
Pirofosfato de tecnecio (^{99m}Tc)	— Marqueje <i>in vivo</i> o <i>in vivo/in vitro</i> de eritrocitos para: <ul style="list-style-type: none"> • Angiogammagrafía, angiocardioammagrafía y estudios de perfusión miocárdica • Diagnóstico y localización de hemorragia gastrointestinal oculta — Determinación del volumen sanguíneo — Gammagrafía esplénica
Propanodicarboxidifosfonato de tecnecio (^{99m}Tc) o DPD(^{99m}Tc)	— Gammagrafía ósea
Sestamibi de tecnecio (^{99m}Tc)	— Diagnóstico de la disminución de la perfusión coronaria — Diagnóstico y localización del infarto de miocardio — Evaluación de la función ventricular global o regional (primer paso para la determinación de la fracción de eyección y/o de la motilidad regional de la pared) — Diagnóstico de malignidad en pacientes en los que se sospeche cáncer de mama — Diagnóstico en pacientes con hiperparatiroidismo recurrente o persistente
Sulfuro coloidal y tecnecio (^{99m}Tc) o azufre coloidal (^{99m}Tc) nanocoloides	— Linfogammagrafía
Succimero y tecnecio (^{51m}Tc) o DMSA(^{99m}Tc)	— Gammagrafía estática (planar o tomográfica) de morfología y función renales
Sulesomab (fragmentos del anticuerpo monoclonal antigranulócito 1MMU-MN3-Fab'SH) (^{99m}Tc)	— Determinación de la localización y extensión de infecciones e inflamaciones en los huesos de pacientes con sospecha de osteomielitis, incluyendo pacientes con úlcera diabética del pie
Sulfuro de renio coloidal y tecnecio (^{99m}Tc) macrocoloides	— Exploración del tránsito digestivo — Gammagrafía hepática (2ª línea) — Gammagrafía esplénica (2ª línea) — Gammagrafía de medula ósea (2ª línea)
Sulfuro de renio coloidal y tecnecio (^{99m}Tc) nanocoloides	— Linfogammagrafía — Gammagrafía gastroesofágica
Tetrofosmina (^{89m}Tc)	— Agente de perfusión miocárdica indicado como adjunto en el diagnóstico y localización de isquemia miocárdica y/o infarto, y también como coadyuvante para la valoración inicial en la caracterización de malignidad de lesiones de mama sospechosas cuando todas las demás pruebas resulten no concluyentes
Trimetil-bromo-IDA y tecnecio (^{99m}Tc) o Mebrofenina (^{99m}Tc)	— Gammagrafía hepatobiliar
Votumumab (^{99m}Tc)	— Obtención de imágenes de recidivas y/o metástasis en pacientes con carcinoma de colon o recto confirmado histológicamente

Nota: Los principios activos se han denominado conforme la Real Farmacopea Española si procede

► Tabla 2. Indicaciones diagnósticas de los radiofármacos de uso humano marcados con radioyodo autorizadas actualmente en España.

Principio activo	Indicaciones diagnósticas
Radiofármacos marcados con ¹²³I:	
Iobenguano (¹²³ I) o MIBG (¹²³ I)	<ul style="list-style-type: none"> — Gammagrafía para localización de tumores que se originan en tejidos que embriológicamente proceden de la cresta neural: feocromocitomas, paragangliomas, quimodectomas y ganglioneuomas — Detección, estadiaje y monitorización del tratamiento de neuroblastomas — Evaluación de la captación de iobenguano — Estudio funcional de la médula suprarrenal (hiperplasia) y del miocardio (inervación simpática)
Iodohipurato (¹²³ I) de sodio	<ul style="list-style-type: none"> — Evaluación de la función renal: <ul style="list-style-type: none"> • Medida del flujo plasmático renal efectivo • Función renal regional y diferencial • Localización de parénquima renal intacto — Gammagrafía renal dinámica para estudios de perfusión, función y del tracto urinario
Ioduro (¹²³ I) de sodio	— Estudio morfológico o funcional de la glándula tiroidea mediante gammagrafía o prueba de captación tiroidea de yodo
Iofupano (¹²³ I)	— Para detectar la pérdida de las terminaciones nerviosas dopaminérgicas funcionales en el cuerpo estriado de pacientes con síndromes parkinsonianos clínicamente dudosos, para ayudar a diferenciar el temblor esencial de síndromes parkinsonianos relacionados con la enfermedad de Parkinson idiopática, atrofia multisistémica y parálisis supranuclear progresiva. No puede distinguir entre enfermedad de Parkinson, atrofia muscular y parálisis supranuclear progresiva
Radiofármacos marcados con ¹³¹I:	
Iobenguano (¹³¹ I) o MIBG (¹³¹ I)	<ul style="list-style-type: none"> — Cálculo de la dosis terapéutica de iobenguano (¹³¹I) — Tratamiento radioisotópico de tumores con afinidad por iobenguano
Ioduro (¹³¹ I) de sodio	<ul style="list-style-type: none"> — Cinética tiroidea del yodo, que puede utilizarse para calcular la dosis terapéutica de ioduro (¹³¹I) de sodio — Identificar tiroides residual y metástasis en pacientes con carcinoma de tiroides tras ablación — Gammagrafía tiroidea para patologías benignas cuando otros radiofármacos con una dosimetría más favorable (p.ej. ¹²³I o ^{99m}Tc) no están disponibles
Norcolesterol iodado (¹³¹ I)	<ul style="list-style-type: none"> — Evaluación de la función suprarrenal cortical — Diagnóstico diferencial entre metástasis suprarrenales e hiperplasia suprarrenal benigna en pacientes oncológicos — Detección de tejido funcional residual en pacientes con hiperfuncionamiento tras adrenalectomía o de tejido endocrino ectópico — Detección y seguimiento de tumores suprarrenales normofuncionantes

Nota: Los principios activos se han denominado conforme la Real Farmacopea Española si procede, y están agrupados en función del radionúclido utilizado para su marcaje y ordenados según el número másico de dicho radionúclido.

Para facilitar y agilizar el procedimiento de evaluación de la documentación, se creó un grupo de trabajo con expertos de todos los Estados miembros, entre los que se distribuyó la evaluación. Cada país evaluaba un tipo de producto sobre la base de criterios comunes previamente establecidos y remitía su informe al resto de países que

aceptaban la evaluación hecha por el país ponente, en base al principio de reconocimiento mutuo. España fue ponente en la evaluación de los productos a base de: albúmina marcada con ^{99m}Tc, microesferas de albúmina marcadas con ^{99m}Tc y macroagregados de albúmina marcados con ^{99m}Tc.

El resumen de las características

del producto (RCP), base de lo que conocemos como *ficha técnica*, es un documento muy importante que resume los aspectos más relevantes de una especialidad farmacéutica, como son la composición, posología, indicaciones de uso, etcétera. El RCP fue también consensuado por el grupo de expertos, creándose así un RCP genérico para cada tipo de producto.

► Tabla 3. Indicaciones diagnósticas de los radiofármacos de uso humano autorizadas actualmente en España, excepto aquellos marcados con tecnecio (^{99m}Tc) o radioyodo.

Principio activo	Indicaciones diagnósticas
Radiofármacos marcados con ^{18}F:	
Fludesoxiglucosa (^{18}F)	— Diagnóstico de melanoma maligno, cáncer colorrectal recurrente, nódulo pulmonar solitario, cáncer de pulmón no microcítico, tumores del sistema nervioso central, diferenciación entre radionecrosis y recidiva, estadiaje y re-estadiaje de linfomas, cáncer de cabeza y cuello y cáncer de tiroides recurrente
Radiofármacos marcados con ^{51}Cr:	
Cromato (^{51}Cr) de sodio	— Marcaje <i>in vitro</i> de eritrocitos para uso diagnóstico
Edetato de cromo (^{51}Cr) o EDTA(^{51}Cr)	— Determinación del filtrado glomerular en la valoración de la función renal
Radiofármacos marcados con ^{57}Co:	
Cianocobalamina (^{57}Co)	— Prueba de malabsorción de vitamina B_{12}
Radiofármacos marcados con ^{67}Ga:	
Citrato de galio (^{67}Ga)	— Localización y/o visualización de lesiones tumorales inespecíficas e inflamatorias
Radiofármacos marcados con ^{75}Se:	
Ácido tauroselcólico (^{75}Se)	— Estudios de malabsorción y pérdida de sales biliares — Evaluación de la función ileal, enfermedad inflamatoria intestinal y diarrea crónica y estudio de la circulación enterohepática
Radiofármacos marcados con ^{81m}Kr:	
Generador de kriptón (^{81m}Kr)	— Estudio de la ventilación pulmonar (recomendado para uso pediátrico). Se combina con gammagrafía de perfusión pulmonar para el diagnóstico de embolia pulmonar
Radiofármacos marcados con ^{90}Y:	
Ytrio (^{90}Y)	— Radiomarcaje de moléculas portadoras que hayan sido específicamente desarrolladas para radiomarcaje con este radionúclido (la indicación corresponderá al radiofármaco que se prepare no al precursor)
Radiofármacos marcados con ^{111}In:	
Cloruro de indio (^{111}In)	— Precursor empleado en la preparación extemporánea de radiofármacos de naturaleza peptídica (la indicación corresponderá al radiofármaco preparado a partir del precursor)
Indio (^{111}In) oxina	— Marcaje <i>in vitro</i> de células sanguíneas (eritrocitos, leucocitos y plaquetas)
Pentetato de indio (^{111}In)	— Cisternogammagrafía para la detección de obstrucciones del flujo del líquido cefalorraquídeo, y para el diagnóstico diferencial entre hidrocefalia normotensiva y otras formas de hidrocefalia — Detección de las pérdidas de líquido cefalorraquídeo
Pentetreótida (^{111}In)	— Adjunto en el diagnóstico y manejo de tumores carcinoides y tumores neuroendocrinos gastro-entero-pancreáticos (gep) portadores de receptores, ayudando a su localización.
Radiofármacos marcados con ^{133}Xe:	
Xenón (^{133}Xe) gas	— Estudio de ventilación pulmonar — Estudio de perfusión cerebral regional
Radiofármacos marcados con ^{201}Tl:	
Cloruro de talio (^{201}Tl)	— Gammagrafía miocárdica para valorar la perfusión coronaria y viabilidad celular en pacientes con cardiopatía isquémica, miocardiopatías, miocarditis, contusiones miocárdicas y lesiones cardíacas secundarias — Gammagrafía de los músculos: perfusión muscular en enfermedad vascular periférica — Gammagrafía de paratiroides — Visualización de tumores con afinidad por talio en diferentes órganos, especialmente tumores cerebrales, tumores tiroideos y metástasis

Nota: Los principios activos se han denominado conforme la Real Farmacopea Española si procede, y están agrupados en función del radionúclido utilizado para su marcaje y ordenados según el número másico de dicho radionúclido.

Tabla 4. Indicaciones terapéuticas de los radiofármacos de uso humano autorizadas actualmente en España.

Principio activo	Indicaciones diagnósticas
Fosfato (³² P) de sodio	— Tratamiento radioisotópico paliativo de la policitemia vera y/o trombocitosis esencial — Tratamiento radioisotópico paliativo del dolor óseo metastásico en pacientes terminales que no responden a la terapia convencional, presentan enfermedad metastásica ósea diseminada de varios tumores primarios y que es probable presenten tolerancia a analgésicos potentes
Cloruro de estroncio (⁹⁰ Sr)	— Tratamiento alternativo o asociado a la radioterapia interna para la paliación del dolor ocasionado por metástasis óseas secundarias a carcinoma prostático en pacientes que no responden al tratamiento hormonal
Suspensión coloidal de itrio (⁹⁰ Y)	— Sinoviortesis radioisotópica de la rodilla — Tratamiento radioisotópico intraperitoneal o intrapleural de derrames malignos recurrentes en pacientes que no responden a la radioterapia o quimioterapia convencionales
Iobenguano (¹³¹ I) o metaiodobencilguanidina (¹³¹ I)	— Tratamiento radioisotópico de tumores que acumulan iobenguano (¹³¹ I) o metaiodobencilguanidina (¹³¹ I)
Ioduro (¹³¹ I) de sodio	— Tratamiento radioisotópico de la enfermedad de Graves, bocio multinodular tóxico o nódulos tiroideos autónomos — Tratamiento radioisotópico del carcinoma papilar y folicular de tiroides incluyendo enfermedad metastásica
Samario lexidronam (¹⁵³ Sm)	— Tratamiento radioisotópico del dolor óseo en metástasis osteoblásticas múltiples que acumulan difosfonatos marcados con tecnecio (^{99m} Tc) en la gammagrafía ósea
Citrato de erbio (¹⁶⁹ Er)	— Tratamiento de la mono u oligoartritis reumatoide de las articulaciones de pequeño tamaño de las manos y pies que no responde al tratamiento intraarticular con corticoides o cuando este tratamiento esté contraindicado
Sulfuro coloidal de renio (¹⁸⁶ Re)	— Tratamiento de la mono u oligoartritis reumatoide de las articulaciones de mediano tamaño (vertebrales, codo, muñeca, tobillo y cadera) y en particular de la poliartritis reumatoide — Tratamiento de la artropatía hemorrágica — Tratamiento de la artropatía crónica de la condrocalcinosis articular

Nota: Los principios activos se han denominado conforme la Real Farmacopea Española si procede, y están ordenados según el número masico del radionuclido que los compone.

Cabe destacar la colaboración de Association of Radiopharmaceutical Producers of Europe (ARPE), que ayudó a la elaboración de los resúmenes bibliográficos y los RCP.

En España se admitieron inicialmente dentro del procedimiento un total de 248 productos de nueve laboratorios farmacéuticos. Una vez finalizado el plazo establecido para este procedimiento especial de registro, todas las solicitudes de puesta en el mercado de radiofármacos han sido sometidas a idénticos procedimientos de registro que el resto de especialidades farmacéuticas.

3. Desarrollo clínico de los radiofármacos de uso humano

El Real Decreto 479/1993 establece las condiciones necesarias para

garantizar la seguridad, eficacia y calidad de los radiofármacos. En lo que respecta a la calidad y seguridad, debe justificarse que estos productos cumplen las garantías exigidas a cualquier especialidad farmacéutica, junto con los requisitos específicos derivados de su naturaleza radiactiva. En el caso de generadores, precursores o equipos reactivos junto a la descripción general del sistema debe proporcionarse información suficiente sobre los componentes que puedan afectar a la composición o calidad del radiofármaco que finalmente se administra al paciente.

La mayoría de las indicaciones de los radiofármacos disponibles en el mercado se refieren a su uso en exploraciones de imagen. En este sentido, el "Committee for Pro-

prietary Medicinal Products" (CPMP) de la Agencia Europea del Medicamento emitió unas consideraciones que sirvieran de guía para evaluar los agentes diagnósticos que se utilizan mediante administración in vivo (*Points to Consider in the Evaluation of Diagnostic Agents*, EMEA 2001).

Los radiofármacos pueden ser específicos, realzando una o más localizaciones anatómicas basándose en factores como funciones o procesos biológicos (por ejemplo, radiofármacos para diagnóstico específicos del sistema linfático), o no específicos, en cuyo caso pueden distribuirse ampliamente en el organismo antes de eliminarse a través de los pulmones (por ejemplo, microburbujas de gas), riñones (por ejemplo, radiofármacos yoda-



► Figura 3. Radiofármacos en un laboratorio.

dos) o tracto digestivo. Las indicaciones diagnósticas se determinan por las características del producto en función de los ensayos clínicos realizados para demostrar su eficacia y por las variables de la prueba diagnóstica. En términos generales, las indicaciones diagnósticas de los radiofármacos pueden agruparse de la siguiente forma:

- Delineación de la estructura.
- Detección o valoración de una enfermedad.
- Evaluación funcional o metabólica.
- Evaluación pronóstica o monitorización del tratamiento.

La autorización normalmente se basa en la evidencia de eficacia diagnóstica en poblaciones concretas, más que en las propiedades generales de una molécula específica; sin embargo, estas propiedades generales deben describirse en el expediente presentado a registro y en la ficha técnica del producto.

La evaluación de la eficacia de un radiofármaco para uso clínico en humanos incluye la valoración de su utilidad clínica en cuanto a la eficacia de la técnica, rentabilidad diagnóstica, impacto en el manejo diagnóstico del sujeto e impacto en la toma de decisiones clínicas. También se considera la simplicidad de la prueba de imagen y su aceptabilidad por parte del paciente en relación con los comparadores (*Points to consider in the evaluation of diagnostic agents*, EMEA 2001). Se debería tener en

cuenta además la influencia del equipo diagnóstico utilizado en los resultados obtenidos.

En la práctica, para determinar el uso seguro de radiofármacos en humanos se siguen los mismos principios que para cualquier otro medicamento, pero debe valorarse también la seguridad del procedimiento de imagen en sí mismo. La valoración de la seguridad clínica de los radiofármacos debe incluir la determinación de las dosis de radiación absorbidas en varios tejidos corporales, órganos y cuerpo entero, y una estimación de la dosis efectiva teniendo en cuenta la posología y forma de administración utilizadas.

Para las indicaciones terapéuticas de los radiofármacos no existe actualmente una guía europea que recoja los principios para su evaluación. Según la FDA, la evaluación de las indicaciones terapéuticas de los radiofármacos puede requerir algunos cambios respecto a la de las indicaciones diagnósticas. Las principales modificaciones son la necesidad de presentar estudios de biodistribución en animales a varios niveles de dosis, evaluación más exhaustiva de la toxicidad animal y seguimiento a largo plazo para evaluar los efectos de la radiación en animales. Además, los estudios clínicos deberían realizarse por personal cualificado, tanto en el manejo y evaluación de radiofármacos para uso terapéutico, como sobre todo en el estudio de su distribución en la

médula ósea, puesto que la dosis radiactiva que recibe la médula puede ser el parámetro limitante de la toxicidad. También puede precisarse un estudio de búsqueda de dosis en pacientes para establecer la dosis máxima terapéuticamente efectiva (Woodbury *et al*, 1996).

3.1. Indicaciones clínicas de los radiofármacos de uso humano actualmente autorizadas en España
Las indicaciones diagnósticas y terapéuticas de los radiofármacos de uso humano actualmente comercializados en nuestro país se recogen, por principio activo, en las tablas 1 a 4 que aparecen en páginas anteriores.

La información que se ofrece en estas tablas no es exhaustiva, pudiendo estar sujeta a cambios o modificaciones no conocidas en el momento de su elaboración.

4. Futuro de la regulación de los radiofármacos de uso humano


Actualmente existe un desarrollo muy rápido de las técnicas de imagen de medicina nuclear, que puede determinar que un radiofármaco ya autorizado quede obsoleto, aparezcan nuevas indicaciones clínicas del mismo o se diseñen nuevos radiofármacos. Actualmente la tecnología utilizada en medicina nuclear y los avances en la radiofarmacia permitirán la incorporación a la práctica clínica de nuevos trazadores con distintas características biológicas, que sean más sensibles y específicos en la detección de los diferentes procesos patológicos. Como ya se ha comentado, las nuevas indicaciones de radiofármacos autorizados y el registro de nuevos radiofármacos deben ser autorizados por la Administración sanitaria antes de su aplicación a la práctica clínica.

Por otra parte, la tecnología PET abre una nueva era en la investigación farmacéutica y biológica en múltiples campos (Fowler *et al*, 1999; Price, 2000), ya que es el único método que permite obtener da-

tos cuantificables objetivamente sobre variables fisiológicas o patológicas relacionadas con la gravedad, evolución y pronóstico de dichos trastornos (Peñuelas, 2001).

Las principales aplicaciones clínicas de la PET están dirigidas hacia el campo de la oncología, cardiolo-

gía, y neuropsiquiatría. En este último la técnica PET se plantea con capacidad para diagnosticar enfermedades degenerativas cerebrales en estadios precoces, ya que es capaz de visualizar *in vivo* la actividad cerebral de pacientes y de personas sanas (Arbizu, 2003). Merece la pena

destacar la investigación clínica que se está llevando a cabo con los radiofármacos PET en enfermedades con alta prevalencia, como la enfermedad de Alzheimer o la enfermedad de Parkinson, que resulta prometedora para mejorar nuestra calidad y esperanza de vida. 

Referencias

— Arbizu J. *1 Curso Teórico-Práctico PET*, organizado por el Servicio de Medicina Nuclear de la Clínica Universitaria de la Universidad de Navarra. [en línea]. Disponible en: <<http://www.unav.es/cun/noticias/102300a.htm>> [Consulta 9 de abril del 2003].

— Beierwaltes WH. *The history of the use of radioactive iodine*. Semin Nuc Med 1979;9:151-5.

— Beres R.A., Patel N., Krasnow A.Z., Isitman A.T., Hellman R.S., Veluvolu P., et al. *Concentration of Tc-99m MDP in ovarian carcinoma and its soft tissue metastasis*. Clin Nucl Med 1991;16:550-2.

— Castell M. *Historia de la Medicina Nuclear en España. Sus primeros cuarenta años*. 1ª edición. Barcelona: CETIR Centre Mèdic, 1993.

— Croil M.N. *Mileposts in Nuclear Medicine History*. En: Henkin R.B., et al, eds. Nuclear Medicine, vol. I. St. Louis: Mosby;1996. p. 3- 9.

— Curie I, Joliot P. *Artificial production of a new kind of radioelement*. Nature 1934;133:201-4.

— Directiva 2001/83/CE del Parlamento y del Consejo, por la que se establece un código comunitario sobre medicamentos para uso humano (DO L 311/67 de 28.11.2001).

— Directiva 65/65/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas sobre medicamentos (DO 22 de 9.2.1965, p. 369/65), cuya última modificación la constituye la Directiva 93/39/CEE del Consejo (DO L 214 de 24. 8.1993, p.22).

— Directiva 75/318/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre normas y protocolos analíticos, tóxico-farmacológicos y clínicos en materia de pruebas de especialidades farmacéuticas (DO L 147 de 9.6.1975, p.1) cuya última modificación

la constituye la Directiva 93/39/CEE del Consejo y la Directiva 1999/83/CE de la Comisión (DO L 243 de 15.9.1999, p.9).

— Directiva 75/319/CEE del Consejo, relativa a las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas sobre especialidades farmacéuticas (DO L 147 de 9.6.1975, p.13), cuya última modificación la constituye la Directiva 93/39/CEE del Consejo y la Directiva 2000/38/CE de la Comisión (DO L 139 de 10.6.2000, p.28).

— Directiva 87/22/CEE del Consejo, por la que se aproximan las medidas nacionales relativas a la comercialización de medicamentos de alta tecnología, en particular los obtenidos por biotecnología (DO L 15 de 17.1.1987), que ha sido derogada por la Directiva 93/41/CEE del Consejo (DO L 214 de 24.8.1993).

— Directiva 89/343/CEE del Consejo, por la que se amplía el ámbito de aplicación de las Directivas 65/65/CEE y 75/319/CEE y por la que se adoptan disposiciones complementarias sobre radiofármacos (DO L 142 de 25.5.1989, p.16).

— Fowler J.S., Volkow N.D., Wang G.J., Ding Y.S., Dewey S.L. *PET and drug research and development*. J Nucl Med 1999;40:1154-63.

— Hung G.U., Tsai S.C., Kao C.H., Lin W.Y., Lin J.H., Wang S.J. *Incidental finding of pancreatic calcification on bone scan*. Sem Nucl Med 2000;30:231.

— Hoffman E.J., Phelps M.E., Mullani N.A., Higgins C.S., Ter-Pogossian M.M. *Design and performance characteristics of a whole-body positron transaxial tomography*. J Nucl Med 1976;17:493-503.

— Lawrence EO. *Transmutations of sodium by deuterons*. Phys Rev 1935; 47:27-32.

— Ley 25/1990, de 20 de diciembre, del Medicamento (BOE nº306, de 22 de diciembre de 1990).

— Nutt R. *The History of Positron Emission Tomography*. Mol Imag Biol 2002; 4:11-26.

— Peñuelas I. *Radiofármacos PET*. Rev Esp Med Nuclear 2001;20:477-98.

— Phelps M.E., Hoffman E.J., Mullani N.A., Higgins C.S., Ter-Pogossian M.M. *Design considerations for a positron emission transaxial tomograph (PET III)*. IEEE Trans Biomed Eng 1976;23:516-22.

— *Points to Consider on the Evaluation of Diagnostic Agents*. The European Agency for the Evaluation of Medicinal Products (EMA). CPMP/EWP/1119/98.

— *Positron Emission Tomography Drug Products; Safety and Effectiveness of Certain PET Drugs for Specific Indications*. Federal Register. Vol. 65, nº48, Friday March 10, 2000. Department of Health and Human Services. Food and Drug Administration (FDA). 12999-13010.

— Price P. *Monitoring response to treatment in the development of anticancer drugs using PET*. Nucl Med Biol 2000;27:691.

— Prinzmetal M., Corday E., Bergman H.C., Schwartz L., Spritzler R.J. *Radiocardiography: A new method for studying the blood flow through the chambers of the heart in human beings*. Science 1948; 108:340-1.

— Real Decreto 479/93, de 2 de abril, por el que se regulan los medicamentos radiofármacos de uso humano (BOE nº109, de 7 de mayo de 1993).

— Spencer R.P., Szikjas J.J., Rosenberg R.J., Yoosufani K.A. *Splenic uptake of Tc-99m MDP. Possible relationship to hemosiderin*. Clin Nucl Med 1990;15:582.

— Woodbury D.H., Leiberman L., Leutzing E., DeWitt L., Farkas R.J. *Pathway for FDA approval of new radiopharmaceuticals*. En: Henkin RB et al, eds. Nuclear Medicine, vol. I. St. Louis: Mosby;1996. p. 350-6.

Fermi y la seguridad nuclear

A través de la vida científica de Fermi, el artículo repasa la evolución histórica de la seguridad nuclear, partiendo del primer sistema previsto para la pila crítica CP-1, que permitió demostrar la reacción de fisión auto-mantenida, hasta mediados de los 50, cuando ya se percibía la

importancia posterior de este concepto. Los avances tecnológicos han ido de la mano del desarrollo del concepto de seguridad, que se ha ido convirtiendo en una parte más a considerar en toda instalación nuclear y que Fermi tuvo siempre presente en de su vida profesional.

En memoria de dos colegas nucleares desaparecidos pero de muy grato recuerdo: Manolo Fajardo Cantillo y Antonio Velilla Manteca.

1. Introducción

Enrico Fermi (1901-1954) es el físico más completo del siglo XX. Sobresalió como gran físico teórico y como gran físico experimental. En el campo teórico fue capaz de desarrollar dos obras tan colosales como la función de distribución que lleva su nombre y la teoría de la desintegración beta. En el campo experimental, quizá el más conocido por los profesionales nucleares, descubrió los neutrones térmicos, desarrolló la física de los neutrones, construyó el primer sistema nuclear automantenido y un largo etcétera (figura 1).

El tema que deseo destacar en este trabajo es el de la participación decisiva de Fermi en el diseño y construcción de las primeras instala-



 Figura 1. Enrico Fermi (1901-1954).

ciones nucleares, los primeros reactores nucleares, todos ellos americanos y puestos en funcionamiento en plena Segunda Guerra Mundial. Trato particularmente de centrar la atención en los aspectos relacionados con la seguridad nuclear, una ciencia cuyo nacimiento se fue produciendo como resultado de una necesidad de la propia tecnología nuclear y que, en cierta forma, siempre estuvo presente en la mente de este gran físico. Los hechos fueron impulsados por la carrera emprendida por los ameri-

canos para la fabricación de la bomba atómica.

Otros países aliados de Estados Unidos también participaron inmediatamente en la construcción de instalaciones nucleares; algunos como los canadienses, antes incluso de finalizar la guerra. Los primeros reactores americanos, canadienses, rusos, ingleses y franceses siguiendo el orden cronológico de su aparición, todos fueron de grafito y siguieron, más o menos, los modelos desarrollados por Fermi, hasta que los diferentes constructores se emanciparon, siguiendo sus propios criterios nacionales.

Los reactores nucleares recibieron, en principio, la denominación de *pilas*. El nombre, puesto por Fermi, encajaba perfectamente para designar los reactores nucleares de grafito, los primeros que se desarrollaron, aunque también se aplicó a otros reactores durante algunos años. El núcleo del reactor estaba constituido por bloques de grafito *apilados*, formando una gran masa con distintas geometrías y los elementos combustibles, en forma de barras, se encontraban in-

*V. Alcober Bosch es profesor del Departamento de Física Aplicada de la ETS de Telecomunicación (Universidad Politécnica de Madrid).

corporados dentro de canales practicados en el grafito¹.

A Fermi le correspondió la tarea de desarrollar sus reactores en época de guerra y con un propósito bélico obsesivo: la construcción de la bomba atómica. La obsesión no procedió de Fermi, ni tampoco de los físicos americanos, sino del ambiente que les rodeaba, generado especialmente por el gran contingente de físicos huidos de Europa y refugiados en Estados Unidos. Este sentimiento de temor ante los posibles avances técnicos de los alemanes en materia nuclear fue contagiado a los políticos y militares americanos, que crearon una formidable organización para la construcción de la bomba atómica y en cuyo epicentro se encontraba la figura de Fermi.

Las actividades nucleares de Fermi comenzaron con su llegada a Estados Unidos, en 1938, justo a continuación de recibir el premio Nobel. Su estancia americana tuvo sus comienzos en la Universidad de Columbia, donde construyó varios conjuntos subcríticos de uranio natural y grafito. Pasó en 1942 a la Universidad de Chicago, donde continuó con ellos hasta la consecución de la primera reacción de fisión automantenida el 2 de diciembre del mismo año (figura 2). A partir de ese momento empezaron a crearse los grandes centros nucleares americanos de investigación y producción: Argonne (cerca de Chicago), Oak Ridge (en Tennessee), Hanford (en el Estado de Washington) y Los Alamos (en Nuevo México). Fermi se encontraba más ligado al primero de estos centros, aunque también pasó una larga temporada en Los Alamos. Visitaba todos los centros con frecuencia y partici-



► Figura 2. Puesta a crítico de la pila CP-1 realizada en una cancha de squash de la universidad de Chicago, según el dibujo de Melvin Miller. El artista ha intentado reflejar el ambiente de ansiedad y de emoción que se vivió en la balconada de la cancha donde se situaron los asistentes, a la izquierda de la imagen. En la parte de abajo se encuentra George Weil manejando la barra de control que hizo crítica la pila, siguiendo las instrucciones de Fermi, el cual aparece por delante del tablero de instrumentos, ligeramente inclinado. Sobre el núcleo del reactor, a la derecha, se encuentra el "equipo de control del líquido" dispuesto a derramar una solución de sal de cadmio sobre el reactor en caso de necesidad.

paba directamente en el proyecto y la puesta en marcha de todos los reactores nucleares, especialmente en los que incorporaban más novedades.

La vida de Fermi tiene lugar en dos etapas perfectamente distinguibles: la etapa italiana y la etapa americana. Su tremenda personalidad y sus grandes dotes científicas se expresaron al máximo en los dos ambientes. En ambos casos dirigió grupos de trabajo preparados por él, que funcionaron a la perfección y fueron capaces de llevar a cabo actividades investigadoras muy novedosas, amplias y completas. Una diferencia importante entre las actividades de Fermi en Italia y en Estados Unidos reside en el tamaño de las instalaciones experimentales. Los trabajos en Italia se desarrollaron a escala de laboratorio y sin que los riesgos de su manipulación fueran excesivos. Manejaban el radón procedente de una fuente de radio, equipos electrónicos primitivos, contadores Geiger, aparatos de rayos X y poco más.

El tamaño y el riesgo de las instalaciones utilizadas por Fermi

y su equipo en Estados Unidos fueron creciendo paulatinamente. Pronto surgieron riesgos nuevos importantes: de radiación, de contaminación o de criticidad. Fermi, que resolvía los problemas en su totalidad, tuvo que hacer frente a todo ello, aunque el tema de la seguridad nuclear como tal todavía estuviera en una fase embrionaria y no quedara realmente separada de los proyectos nucleares como una doctrina con entidad propia.

2. Aparece la seguridad nuclear

Las grandes instalaciones que se pusieron en marcha en Estados Unidos para el programa bélico nuclear fueron aceleradores, reactores nucleares, plantas separadoras de plutonio y plantas de enriquecimiento de uranio. Así como en el terreno de los reactores los americanos se decantaron claramente por el modelo de uranio natural-grafito, con el problema del enriquecimiento no supieron, en principio, a que carta quedarse. Desarrollaron simultáneamente varias técnicas (difusión gaseosa, separación electromagnética, centrifugación gaseosa, etcétera), algunas a escala piloto y otras a escala indus-

¹En las dos primeras pilas CP-1 y CP-2, al igual que en todos los conjuntos subcríticos anteriores, las piezas de combustible eran cilindros cortos de uranio metálico y bolas aplastadas de óxidos de uranio, que se situaban en oquedades realizadas en el grafito.



► **Figura 3.** Enrico Fermi acompañado de dos de los grandes científicos americanos que participaron en el Proyecto Manhattan: Robert Oppenheimer, a su derecha, y Ernest Lawrence, a su izquierda.

nes y los resultados de Fermi hizo que siempre ocupara los puestos de máxima responsabilidad técnica². Fermi representó especialmente en Los Alamos la persona de máxima seguridad (así se le conocía) a la que se consultaba cualquier tema científico o técnico por el convencimiento, demostrado ampliamente, de que iba a proporcionar la mejor, más rápida y más completa solución³ a los problemas más difíciles. Los grandes físicos, incluidos los premios Nobel, acudieron a Fermi con frecuencia para que les sacara de dudas en sus problemas, tanto teóricos como de cálculo o tecnológicos. Y Fermi lo hizo con toda precisión y dominio de los temas, como ellos mismos confesaron.

Estos antecedentes nos muestran a un Fermi completamente seguro de su trabajo que analizaba los proyectos y las instalaciones hasta en el menor detalle. No se le escapaban, por tanto, los aspectos que hoy entendemos como seguridad nuclear. A pesar de las prisas por quemar las etapas que condujeran a la bomba atómica, Fermi no dejó ni un solo resquicio que pudiera llevar a un comportamiento dudoso de las instalaciones en que participó.

3. Fermi y la seguridad

No es difícil para el científico europeo adaptarse a las costumbres y a los modos americanos, en general más prácticos y menos sujetos a condicionamientos que los del Viejo Continente. La emigración masiva de científicos durante la época ante-

² Así como Fermi aceptó en los proyectos los puestos de máxima responsabilidad técnica, que era mucha, sin embargo prefería delegar en otros los cargos y tareas administrativas y de organización. Como muestra, al terminar la guerra y reincorporarse a la Universidad de Chicago, contribuyó a la creación del Instituto de Estudios Nucleares, pero declinó ocupar el puesto de director del mismo, a pesar de ser el físico con más conocimientos sobre todas estas materias.

³ El gran matemático húngaro Von Neumann compartía con Fermi las funciones de hombre de seguridad para las cuestiones de cálculo.

trial. También decidieron combinarlas entre sí para mejorar los rendimientos de los procesos individuales. Todas las instalaciones ofrecían riesgos nucleares importantes salvo los aceleradores que los presentaban en menor medida.

Los reactores nucleares tenían como propósito fundamental la producción de plutonio. Por ello, a la vez que desarrollaban los reactores, desarrollaban también los métodos para la extracción de este metal. Aparte de los problemas tecnológicos digamos normales: suministro eléctrico, separaciones químicas, ventilación y acondicionamiento, operaciones y controles remotos, etcétera, el cúmulo de problemas de seguridad y radiológicos a resolver de inmediato fue impresionante. También hubo que resolver el problema del suministro de grandes cantidades de materiales con un alto grado de pureza, uranio y grafito, sobre todo.

A pesar de las prisas, el mérito de todos estos proyectos nucleares primitivos estriba en el rigor empleado. A la vez que se diseñaban las instalaciones, se encontraban desarrollando sus elementos o ensayando los materiales cuyo comportamiento no era todavía conocido. Y hasta se estaban discutiendo pormenores básicos, como el tipo de refrigeración o la estructura de los elementos combustibles. Ahora bien, los problemas y sus presumibles consecuencias se diseccionaban a fondo y se resolvían por un

conjunto de científicos e ingenieros de primera línea (figura 3). En ocasiones estos problemas eran muy arduos y requerían un tiempo de desarrollo del que no se disponía. Se resolvían entonces a base de la realización de medidas experimentales exhaustivas que aseguraran el funcionamiento correcto del sistema y se dejaba para más adelante la interpretación teórica del asunto.

Así como la demostración de la primera reacción automantenida y la puesta en marcha de la primera pila de Fermi es la consecuencia de cinco años previos de trabajo, las etapas siguientes fueron rápidas. Antes de cumplirse un año de esta experiencia, concretamente en noviembre de 1943, se hizo crítica la pila X-10, de 1 MW de potencia, que sirvió de planta piloto para la producción de plutonio. En septiembre de 1944 se hizo crítico el reactor Hanford B, de 250 MW, ya dispuesto para la producción de plutonio. El X-10 es una versión muy mejorada del CP-1 y el reactor B de Hanford está basado en el X-10, con muchas novedades por el incremento de potencia tan importante que supuso.

Fermi se encontraba siempre en el ojo del huracán tomando parte en todas las discusiones, las determinaciones experimentales, la prueba de los nuevos materiales y los cálculos. La confianza absoluta que tenían los organizadores políticos, militares y científicos en las decisio-

rior a la Segunda Guerra Mundial y a lo largo de esta así lo demuestra. La mayoría se integraron plenamente y produjeron su trabajo a entera satisfacción. Un caso notable, sin embargo, fue el de Enrico Fermi.

La sintonía de Fermi con el ambiente americano fue superior y más completa que la de otros físicos, porque también su idiosincrasia se aproximaba notablemente al modelo americano. A diferencia de un denominador común que afecta a los europeos (salvo a los ingleses) de modo prioritariamente especulativo, Fermi tenía un sentido pragmático y realista de las ciencias. Esta peculiaridad ya se dejaba sentir en sus estudios elementales y medios cuando siempre buscaba una justificación de todas las materias que le iban explicando.

Una de sus constantes vitales fue su pragmatismo en razonamientos, exposición de materias, formas de abordar los problemas, empleo de las matemáticas, etcétera. Otra de sus constantes era la de no dejar cabos sueltos ni resquicios para la improvisación. Aunque sus cálculos pudieran parecer excesivamente simplificados y rápidos, la tremenda aproximación a la realidad del problema le garantizaba la obtención de resultados siempre muy fiables. Dentro de su trayectoria científica no figuran situaciones dudosas o de indecisión, lo que demuestra que su tremenda imaginación quedaba soportada por buenos modelos de trabajo y estaba sujeta siempre a la razón.

Una de las grandes virtudes de Fermi fue la práctica de la seguridad antes incluso de que se popularizara esa actitud frente a las actividades científicas que entrañan riesgos. Fermi practicaba la seguridad implícitamente, aceptando y previniendo los riesgos, porque dominaba los problemas que llevaba entre manos. La seguridad intrincada y compleja de nuestros días proviene esencialmente de la propia complejidad de las instalaciones, pero también de la desconfianza de los organismos reguladores. La seguridad en cuanto a

previsión y evaluación de riesgos es una virtud muy americana, heredada de los ingleses, acostumbrados a practicarla a consecuencia de su carácter insular, pero poco practicada en el resto de Europa y menos todavía en los países mediterráneos. Sustancialmente lo que practica más el latino es la improvisación y la adopción de actitudes heroicas, en vez de prevenirlas como hacen los anglosajones⁴. Ante esta exposición de principios de conducta resulta chocante que Fermi rompiera con la norma italiana y encajara mejor con la línea anglosajona. Esta forma de comportamiento no la vivió Fermi en su ambiente de juventud, sino que formaba parte de su ser.

Desde muy pequeño estaba acostumbrado a analizar los problemas con un sentido realista y a resolverlos por completo. Su forma de proceder consistía en alternar los cálculos con las medidas experimentales de forma muy coordinada. Construía modelos físicos y matemáticos y los comprobaba rigurosamente. Con estos efectuaba un seguimiento estricto del fenómeno en estudio y era capaz de extrapolar o hacer predicciones dentro de márgenes estrechos de error.

El seguimiento de los trabajos experimentales de Fermi y el hecho de no haber sufrido nunca ningún contratiempo ni accidente serio demuestran la verdad de las afirmaciones anteriores. Tanto más cuanto que diseñar y construir los primeros reactores nucleares a la vez que se elaboraba la física de los mismos, o se determinaban las propiedades nucleares de los materiales, desconocidas hasta entonces, requería mucho dominio y seguridad en uno mismo.

Lo que entendemos por seguridad nuclear es un término acuñado y empezado a utilizar por los americanos. Las grandes cantidades de energía que se manejan en esta especialidad de la física y los grandes riesgos que se pueden derivar de su uso incorrecto impusieron la necesi-

dad de una seguridad. Bien visto, esta seguridad desciende de forma natural de otras seguridades experimentadas ya anteriormente en Estados Unidos, como la seguridad en la navegación aérea, la seguridad frente a los incendios o la seguridad vial. Estas conductas forman parte de una *cultura de la seguridad*, ausente de la mentalidad latina y en concreto de la italiana, pero presente durante toda su vida en las actuaciones de Fermi.

El esbozo de seguridad que practicó Fermi fue evolucionando al aumentar la potencia de las instalaciones, al surgir los primeros incidentes y al dar comienzo al estudio del análisis de riesgos. Cuando Estados Unidos comenzó a exportar su tecnología nuclear llevó también consigo la seguridad nuclear asociada correspondiente. Hoy día la seguridad nuclear ha alcanzado una tremenda complejidad, que Fermi no podía imaginar, motivada, en parte, por la amplitud de los riesgos involucrados y en parte para obtener una buena imagen de la tecnología. Pero también por la presión de muchos colectivos o asociaciones políticas que, por diversos motivos, se oponen por acción o por omisión a la implantación de la energía nuclear.

4. Nacen los primeros sistemas de seguridad nuclear

Recordemos que el primer sistema de seguridad nuclear de la historia fue previsto por Fermi para la CP-1, su primera pila crítica, con ocasión de la demostración de la reacción de fisión automantenida. En realidad eran dos sistemas de actuación para el caso en que fracasaran los sistemas de control ordinarios. Cualquiera de ellos actuando independientemente bastaba para interrumpir la reacción de fisión en cadena y apagar la pila⁵.

⁵Una descripción del desarrollo de la primera reacción de fisión automantenida se puede encontrar en el libro de Mariano Mataix, *De Becquerel a Oppenheimer*, citado en la bibliografía al final del artículo.

⁴Un ejemplo de esta actitud lo tenemos bien presente, la catástrofe del *Prestige*.

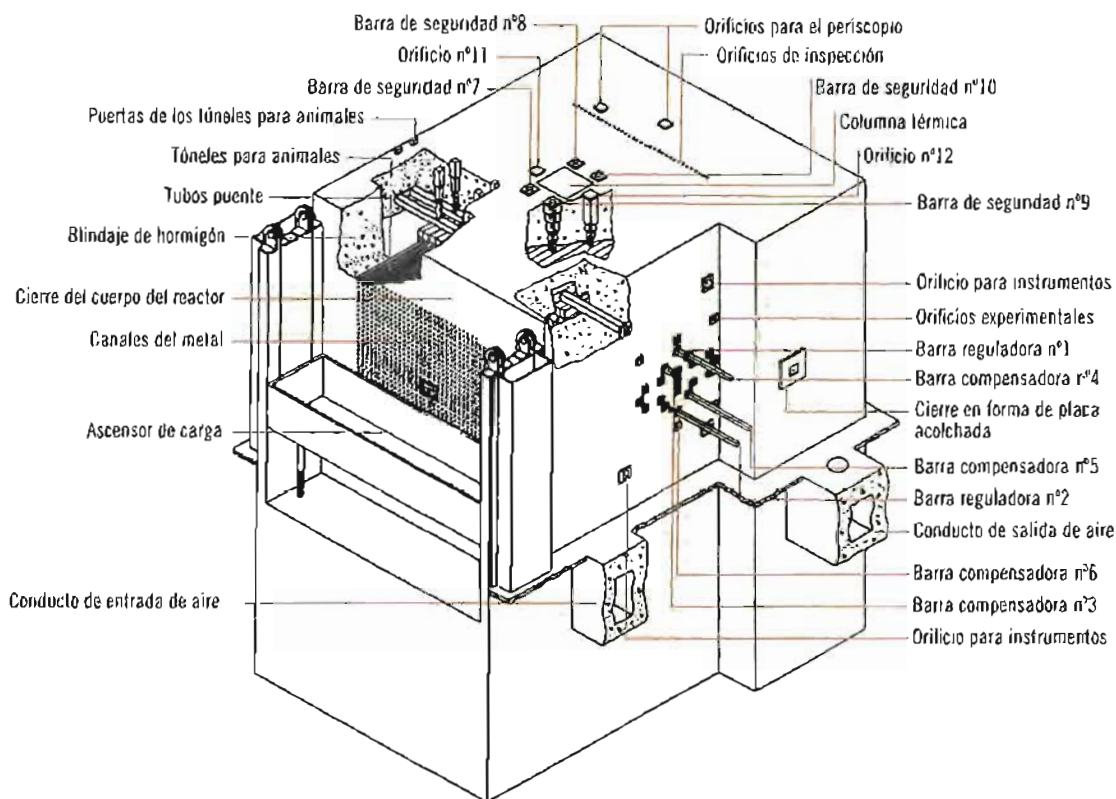


Figura 4. Esquema del núcleo de la pila X-10.

El primero estaba formado por una barra de seguridad que atravesaba la pila de arriba a bajo. Para el funcionamiento de la CP-1 esta barra debía permanecer totalmente extraída. La barra colgaba de una cuerda que pasaba por una polea superior y por el otro extremo se encontraba amarrada a la balaustrada de la galería de observación de la cancha de *squash* donde se llevó a cabo la experiencia. Por su parte inferior, la barra llevaba un grueso contrapeso para facilitar la inserción rápida por gravedad. En caso de necesidad, uno de los colaboradores de Fermi, Hilberry, provisto de un hacha procedería a cortar de un tajo la cuerda de sujeción. El equipo encargado de realizar tal misión fue designado con el nombre de "escuadrón suicida".

El segundo sistema de seguridad estaba constituido por un "equipo de control del líquido". Lo formaban tres colaboradores situados sobre la plataforma superior de la pila (figura 2). Cada colaborador disponía de un recipiente lleno de una solución de una sal de cadmio. En caso de fa-

llo de los sistemas de control ordinarios estaban obligados a verter la solución de cadmio sobre la pila. La fuerte absorción neutrónica del cadmio interrumpiría así la reacción de fisión en cadena. Como todo se desarrolló según lo previsto, no hubo necesidad de accionar ninguno de los dos sistemas de seguridad.

Pronto, los sistemas de seguridad dejaron de ser manuales y comenzaron su evolución hacia los complejos mecanismos y filosofías actuales. Pero esa simplicidad aparente en los medios primitivos no debe ocultar el hecho de que la seguridad nuclear ha estado siempre presente en todas las instalaciones nucleares desde su nacimiento. Ni tampoco el hecho de que fue Fermi el primero en poner en práctica los sistemas de seguridad nuclear.

Sería un error intentar juzgar la seguridad nuclear que empezaba a nacer con las primeras instalaciones nucleares, partiendo de los supuestos que regulan la seguridad nuclear actual. En el fondo, sin embargo, lo que se pretendía entonces también era reducir la probabilidad de ocu-

rrencia de un accidente nuclear o radiactivo y la limitación de las repercusiones radiológicas en caso de presentarse éste. Desde luego, los sistemas se construían tan seguros como les permitía la tecnología, se incorporaban sistemas técnicos de seguridad, se aplicaba un cierto control de calidad y se empezaban a utilizar las barreras múltiples. Los informes y análisis de seguridad todavía se encontraban en mantillas.

Una filosofía de la seguridad que empezó a ponerse en práctica desde los comienzos de las pilas fue la de construirlas alejadas de los centros de población. Así sucedió con los Laboratorios Nacionales de Argonne y de Oak-Ridge, que iban a albergar diversas instalaciones nucleares. La elección del emplazamiento de Los Alamos obedeció no sólo a razones de seguridad sino también a motivos de discreción. En todos los nuevos centros y con el fin de minimizar los riesgos, los edificios se construyeron convenientemente distanciados unos de otros. También se ejerció un control estricto sobre los efluentes líquidos y gaseosos. Las precauciones to-

madas con respecto a la elección del emplazamiento de Hanford para los reactores plutónigenos todavía fueron más rigurosas. Siempre estuvo presente en la mente de los diseñadores y proyectistas de las instalaciones nucleares el riesgo inherente a las posibles fugas radiactivas y las contaminaciones que se podían desencadenar en la atmósfera, en los ríos, en la flora y en la fauna.

5. Algunos sistemas de seguridad puestos en práctica

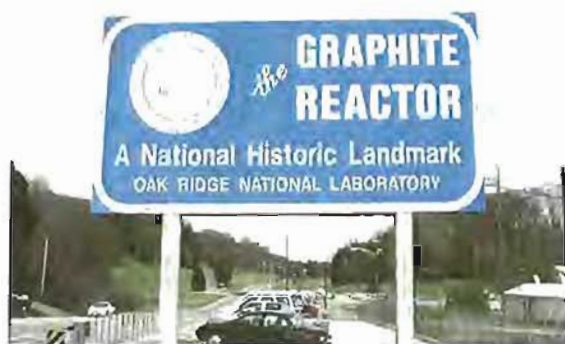
Aquí se recogen cronológicamente los primeros pasos dados en este terreno. Los reactores primitivos fueron experimentales y de potencias bajas, por lo que los sistemas y procedimientos de seguridad no eran nada complejos. Las mayores complicaciones surgieron con la puesta en marcha de los reactores plutónigenos de Hanford, todos ellos de potencia.

5.1. CP-1 y CP-2

Como ya hemos comentado la pila CP-1 fue dotada de algunos sistemas de seguridad, a pesar de su simpleza. Las seguridades se incrementaron más todavía cuando fue trasladada al Laboratorio Nacional de Argonne. Se dotó de un grueso blindaje biológico de hormigón y cambió de nombre, pasando a llamarse CP-2. No presentó situaciones de riesgo, a pesar de que tuvo que ser empleada a fondo para el desarrollo de nuevos materiales, el apoyo de los nuevos reactores nucleares y la formación del personal.

5.2. X-10

La pila X-10 es la continuadora de las dos anteriores y se construyó en el recientemente creado Laboratorio Nacional de Oak Ridge (figura 4). El material combustible era uranio natural y se encontraba moderada por grafito y refrigerada por aire. Desempeñó el papel de planta piloto para los reactores plutónigenos de Hanford. La construcción se inició a principios de 1943 y se hizo crítica el 4 de noviembre de ese año. Se



► Figura 5. El Proyecto Manhattan, juntamente con todas las instalaciones recogidas en este trabajo, forma parte de la historia moderna americana. La pila X-10 constituye un eslabón importante dentro de este proyecto, como quiere recordarnos este cartel colocado en el ORNL.

proyectó para 1 MW de potencia, pero, posteriormente, se elevó ésta hasta 3,5 MW. Junto a la pila se construyó una planta para la separación del plutonio, también en plan piloto. El primer gramo de plutonio fue obtenido aquí y se depositó en manos de Fermi para medir sus propiedades nucleares.

Es el segundo reactor nuclear americano de la historia y presenta un gran número de novedades respecto a sus antecesores, la pareja CP-1 / CP-2. Entre ellas destacan la aparición de los canales de refrigeración, la forma cilíndrica y alargada de los elementos combustibles, el empleo de vainas de aluminio para proteger el material combustible y la refrigeración forzada. Se prestó una atención especial a la soldadura de las vainas, consiguiendo mejoras sucesivas de tan importante proceso. Como sistema de seguridad asociado se introdujeron cuarenta termopares unidos a las vainas para medir la temperatura de estas. La temperatura normal de las vainas estaba en torno a los 245°C. En caso de alcanzarse la temperatura de 325°C se producía la parada automática de la pila.

Un problema que surgió en esta pila fue el de la rotura de las vainas. Una de estas roturas producía una contaminación del sistema con productos de fisión (PF) y una obstrucción del canal de refrigeración correspondiente. Esta última, a su vez, provocaba un aumento de la temperatura en el canal, por refrigeración insuficiente. El incremento indeseado de temperatura generaba, ade-

más, nuevas roturas de vainas. Un proceso como éste debía ser corregido a tiempo o, mejor todavía, previsto. Hubo dos accidentes de este tipo que obligaron al vaciado de dos canales de refrigeración, los cuales quedaron dañados e inutilizados. Para evitarlos se decidió inspeccionar semanalmente todos los canales de refrigeración. Con ello se acabaron los fallos imprevistos. Posteriores mejoras del combustible contribuyeron a solucionar definitivamente el problema.

El número de instrumentos y dispositivos de seguridad de la pila X-10 creció ostensiblemente respecto a sus antecesoras, se simplificó la operación y se prestó una atención especial a la sanidad clínica y experimental así como al estudio de los efectos biológicos de las radiaciones. La pila se utilizó también para la realización de experiencias, el estudio de los nuevos materiales y para la formación del personal (figura 5).

El proyecto de la pila X-10 incluyó un nuevo sistema de seguridad para producir la parada automática de la pila en caso de emergencia. Consistió en una tolva llena de balines de acero borado, situada encima del núcleo del reactor, por debajo del blindaje biológico. El cierre inferior de la tolva se accionaba mediante un cable desde la sala de control y permitía la caída y dispersión de los balines por el núcleo del reactor. La fuerte absorción del boro interrumpiría, así, la marcha del reactor. La tolva resultaba muy difícil de inspeccionar y nunca se realizó esta

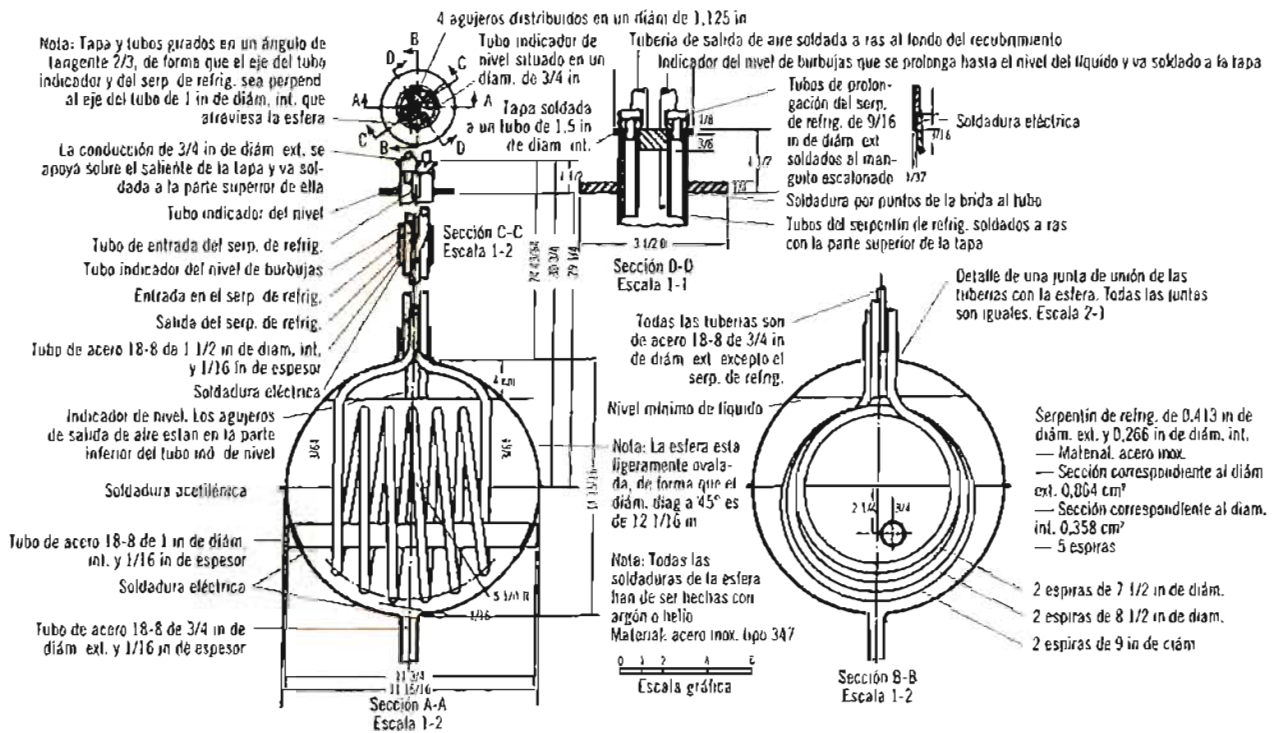


Figura 6. Detalles de construcción del calderín del reactor homogéneo HYPO. Dentro del calderín se depositaba la solución de material fisionable (nitrato de uranilo disuelto en agua) que hacía el papel de núcleo del reactor. Por el interior del serpentín se hacía circular el agua de refrigeración.

operación. Transcurridos más de diez años desde su instalación se accionó inopinadamente el sistema y los balines no salieron de la tolva. Se encontraban oxidados y pegados unos a otros. Enseguida se solicitó la autorización para la eliminación del sistema. La lección que se extrajo es que en una instalación nuclear no se debe emplear un sistema de seguridad que no pueda ser comprobado periódicamente.

5.3. Los reactores homogéneos

En agosto de 1943 se tomó la decisión de construir un pequeño reactor homogéneo en Los Alamos. No solamente iba a ser el primer reactor homogéneo de la historia sino también el primer reactor nuclear de uranio enriquecido. El núcleo estaba constituido por un calderín esférico de 30 centímetros de diámetro, que contenía una solución de sulfato de uranilo en agua. El calderín se encontraba rodeado completamente por un reflector de BeO. El uranio presentaba un enriquecimiento comprendido entre el 7% y el 15% en U-235. La cantidad

total de este último nucleido fue de 580 gramos. Durante su corta existencia, poco más de un año, LOPO trabajó a 50 mW. Para evitar riesgos se construyó suficientemente alejado de las demás instalaciones del centro.

En vista del éxito de este pequeño reactor se pensó sustituir por otro análogo pero de mayor potencia y, por tanto, con refrigeración forzada. El nuevo reactor recibió el nombre de HYPO y alcanzó los 6 kW de potencia (figura 6). Se hizo crítico en diciembre de 1944 empleando una solución de nitrato de uranilo en agua con un enriquecimiento del 14,5% en U-235. Se pudieron alcanzar flujos neutrónicos interesantes para la experimentación. En 1950 se decidió modificar HYPO y fue transformado en el reactor SUPO de 45 kW y más adelante se construyó el SUPO II. Estos últimos reactores se salen de nuestro marco histórico y no se pasarán a comentar, a pesar de su interés.

Cuando no funcionaba el reactor LOPO, la solución combustible-moderador (ellos la llamaban

“el caldo”) quedaba albergada en un recipiente cónico de gran ángulo justo por debajo de la esfera para evitar problemas de criticidad. Para comenzar el trabajo se bombeaba “el caldo” desde el recipiente cónico al calderín, procediendo por pasos y efectuando la correspondiente aproximación a crítico. Ésta se llevaba a cabo utilizando cinco detectores de neutrones independientes, o sea, tomando muchas más precauciones que con otros reactores. Según sus constructores, se introdujeron muchos sistemas de seguridad para evitar accidentes de criticidad o fugas de la solución combustible. Se incorporó una barra de seguridad de cadmio que podía caer por gravedad en un hueco practicado en el reflector y se encontraba tangente al calderín.

En HYPO se incorporaron algunas novedades motivadas por la mayor potencia del reactor. La más característica consistió en un serpentín situado dentro del calderín, por donde se hacía circular el agua de refrigeración en circuito abierto. Se introdujeron nuevos sistemas de

seguridad como fue la creación de una corriente de aire por encima de la superficie libre del "caldo" para arrastrar los gases desprendidos. También se instalaron dos barras de seguridad en lugar de una, como sucedía en LOPO.

El nuevo tipo de reactor trajo consigo nuevos problemas. Aparecían corrientes de convección y formación de burbujas en el núcleo. Se manifestaron pérdidas de nitrógeno de la solución que provocaron la aparición de precipitados. También se desprendían vapores ácidos radiactivos que, ante la imposibilidad de ser tratados, se liberaban a la atmósfera con grandes precauciones para minimizar los daños. Todos estos problemas se resolvieron en los reactores homogéneos posteriores.

No queda claro que Fermi participara en el proyecto de LOPO, pero sí que trabajó en los experimentos desarrollados con él. Sin embargo, actuó tanto de consultor del proyecto como de experimentador en HYPO. Esta serie de pequeños reactores homogéneos fue completamente novedosa en un mundo donde los reactores eran de uranio natural y grafito. Se consiguió endurecer el espectro neutrónico y, por tanto, se pudieron mejorar algunos estudios con neutrones rápidos. Estos estudios eran muy necesarios para el conocimiento de la reacción de fisión explosiva propia de la bomba atómica.

5.4. CP-3

Es el primer reactor de uranio natural y agua pesada. El agua pesada actuaba de moderador y de refrigerante. Los elementos combustibles eran largas barras de uranio (1,8 metros) envainadas en aluminio. El núcleo estaba contenido en un tanque de aluminio con una tapa gruesa que servía de soporte a los elementos combustibles y disponía de otras perforaciones. Se construyó en Argonne y se hizo crítico el 15 de mayo de 1944; su potencia fue de 300 kW.

El CP-3 se construyó como una alternativa para el caso de que fracasara el sistema uranio natural-grafito en la producción de plutonio. Sus constructores le aplicaron los apelativos de máquina simple, segura y barata. Proporcionaba buenos haces de neutrones y así funcionó durante diez años seguidos, realizando un elevado número de experiencias. Entre otros muchos, se realizaron por primera vez estudios sobre fenómenos de polarización y de resonancia de los neutrones.

En 1950 se retiró el combustible viejo, observando que una de las vainas había sufrido corrosión y provocado problemas de contaminación del agua pesada. El combustible se sustituyó por barras de uranio-aluminio al 2%, envainadas en aluminio. El uranio se encontraba enriquecido a más del 90%. Se solucionó así el problema de la corrosión y se pudo aumentar el flujo de neutrones en un factor cuatro.

6. Los reactores de Hanford

El centro de Hanford constituyó, desde su creación en el año 1944 y hasta su cierre en 1996, el gran complejo americano para la fabricación de plutonio, produciendo un total de 67.262 kilogramos de este precioso metal. Llegó a disponer de nueve grandes reactores de gra-

fito refrigerados por agua. Los tres primeros, llamados B, D y F, empezaron a construirse en 1943 y entraron en funcionamiento en septiembre de 1944, en diciembre de 1944 y en febrero de 1945, respectivamente. Con sus 250 MW iniciales, en pocos meses suministraron el plutonio necesario para fabricar tres bombas atómicas, la de la prueba de Alamogordo, la de Nagasaki y otra que no se llegó a lanzar. Los siguientes, llamados H, DR y C, comenzaron la operación entre los años 1949 y 1952. Los dos siguientes, llamados KE y KW y de potencia más elevada (1.900 MW iniciales), ya aparecen mediados la década de los cincuenta. El último de la serie, el reactor N, más sofisticado que sus predecesores, funcionó a partir de 1964 y desde el principio trabajó a 4.000 MW de potencia térmica (tabla 1).

El centro de Hanford se destinó a albergar los primeros reactores plutónicos, todos ellos de potencia elevada. Puede ser, por tanto, considerado como la primera instalación nuclear de potencia de la historia. Aunque los reactores seguían la línea del X-10, la refrigeración ya no se hizo con aire sino con agua. Con el notable incremento de la potencia aumentaron las implementaciones tecnológicas, se incrementaron todos los riesgos, tanto

► Tabla 1. Los reactores de Hanford.

Reactor	Comienzo construcción	Comienzo operación	Parada	Potencia térmica		Vainas
				Diseño (MWt)	1963-64 (MWt)	
B	Ago 43	Sep 44	Feb 68	250	1.950	Al
C	Jun 51	Nov 52	Abr 69	250	2.005	Al
D	Nov 43	Dic 44	Jun 77	250	1.935	Al
DR	Dic 47	Oct 50	Dic 64	250	1.925	Al
F	Dic 43	Feb 45	Jun 65	250	1.955	Al
H	Mar 48	Oct 49	Abr 65	750	2.310	Al
KE	Ene 53	Feb 55	Ene 71	1.800	4.400	Al-Zr
KW	Nov 52	Dic 54	Feb 70	1.800	4.400	Al-Zr
N	May 59	Mar 64	Abr 86	4.000	3.950	Zr-2

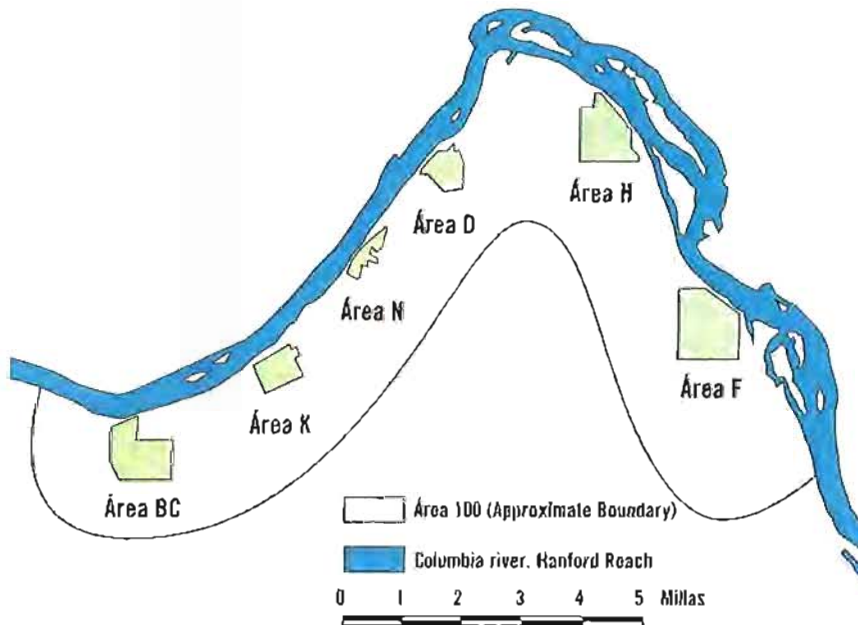


Figura 7. Plano del Área 100 de Hanford. Se distinguen los seis emplazamientos para los nueve reactores, denominados BC (pilas B y C), K (pilas KW y KE), N (pila N), D (pilas D y DR), H (pila H) y F (pila F).

los convencionales como los nucleares, y fue preciso implantar una seguridad nuclear que fue evolucionando y perfeccionándose paulatinamente desde lo más simple, en los años cuarenta, a lo más elaborado, a partir de los años sesenta.

6.1. El emplazamiento

Se tomaron medidas especiales a la hora de elegir el emplazamiento para el complejo de Hanford. La primera de ellas era la baja densidad de población en el entorno y su alejamiento del centro nuclear. La segunda, la disponibilidad de gran cantidad de agua para la refrigeración de las instalaciones, casi cien mil litros de agua por minuto procedentes del río Columbia. La tercera, la existencia de dos centrales hidroeléctricas próximas, capaces de abastecer ampliamente y por separado, las necesidades energéticas del centro. Posteriormente se pusieron en marcha muchas medidas y dispositivos de seguridad, tanto a nivel de proyecto como a lo largo de la operación de los reactores de Hanford.

A pesar de la lejanía de Hanford respecto a otros centros de investigación o de producción, lo que arrastró problemas de incomodidad para el personal, prevaleció el criterio del mayor aislamiento posible del centro con respecto a las poblaciones vecinas. Los reactores se construyeron a lo largo de una zona llamada Área 100 bordeada por el río Columbia. Las pilas se encontraban ocupando seis zonas separadas entre sí entre cuatro y cinco kilómetros. Las zonas se denominaron BC (2 pilas), K (2 pilas), N (1 pila), D (2 pilas), H (1 pila) y F 8 (1 pila) (figura 7). Cada instalación presentaba los sistemas, a su vez, convenientemente apartados unos de otros. Por el mismo motivo las plantas de separación del plutonio también se encontraban alejadas entre sí y con los reactores de producción, ocupando la parte central de la parcela del complejo.

6.2. El envainado del combustible

Como ya había sucedido anteriormente en el X-10, uno de los pro-

blemas más complejos de estos reactores fue la construcción de las vainas de las barras combustibles. Por primera vez, el material combustible iba a trabajar en altas potencias y había que asegurar la integridad de las vainas, la impermeabilidad a los gases de fisión y asegurar una buena transmisión del calor. En octubre de 1944 se efectuó un cambio importante en el diseño de las vainas y a los seis meses de funcionamiento a alta potencia todavía no había aparecido fallo alguno en ninguna de ellas. Se instalaron un control de rotura de vainas y otro control de obstrucción de canales de refrigeración.

Las roturas de vainas empezaron a manifestarse en el año 1948. El año 1951 fue desastroso por el incremento impresionante que sufrieron éstas. La década de los cincuenta fue especialmente negra en este aspecto. En la década siguiente, por el contrario, se logró una reducción paulatina de su ocurrencia. El problema pudo controlarse mejorando la fabricación de los elementos combustibles, los sistemas de detección de rotura de vainas y la operación de los reactores.

6.3. El sistema de refrigeración

Los reactores de Hanford se refrigeraron por agua en circuito abierto, lo que supuso un enorme consumo de agua que repercutió en la aparición de muchos sistemas de seguridad asociados. El agua se tomaba del río, se depuraba, refrigeraba el reactor, se retenía hasta que descendiera por debajo de un cierto nivel de actividad y, finalmente, se descargaba al río. Las instalaciones relacionadas con el tratamiento del agua de refrigeración ocupaban mucho más espacio que las propiamente nucleares (figura 8).

Para asegurar la refrigeración con agua del núcleo, la instalación de cada reactor disponía de tres sistemas de suministro de agua. El primero era el de funcionamiento habitual y constaba de bombas do-

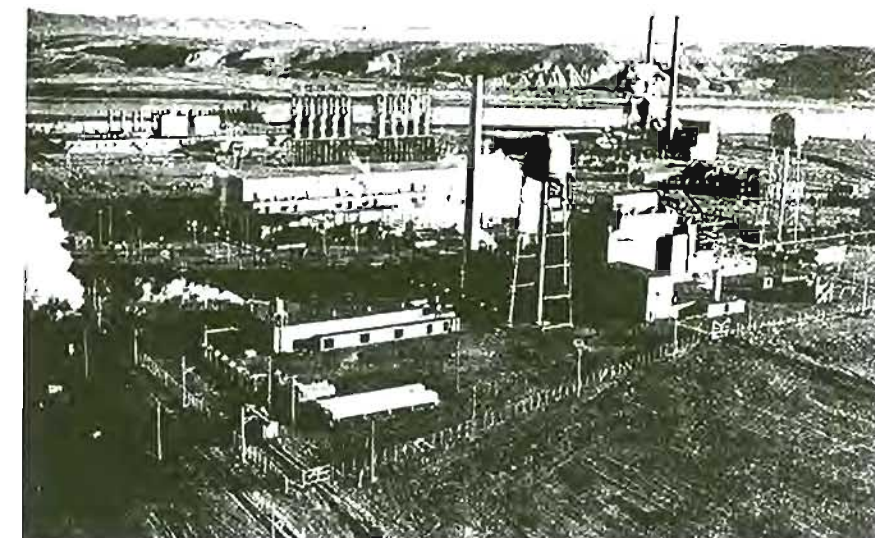
tadas de motores eléctricos. El segundo sistema estaba preparado para funcionar en el caso de que fallara el primero y se encontraba dotado de bombas accionadas por turbinas de vapor. En caso de fallo de los dos primeros sistemas, todavía existía un tercer sistema de refrigeración constituido por dos grandes depósitos elevados capaces de suministrar más de 1.000 m³ de agua cada uno.

6.4. El impacto ambiental

Conscientes de los problemas radiológicos que se les venían encima, los organizadores de Hanford iniciaron los estudios biológicos del entorno antes de la construcción de los reactores. Comenzaron con ello los estudios sobre peces, animales y sobre el medio ambiente de la zona. Los estudios se mantuvieron durante toda la vida del centro. Se procuraron establecer unas normas rígidas para los efluentes líquidos y gaseosos: no se podían contaminar los empleados, los miembros de las comunidades próximas "ni los peces del río". A la hora de la verdad, sin embargo, se produjo una contaminación sistemática del medio ambiente, particularmente del río.

El gran pecado de Hanford consiste, pues, en la contaminación radiactiva sistemática producida en el río Columbia, problema que tardó varios años en iniciar su resolución. Después de atravesar el núcleo, el agua de refrigeración quedaba almacenada durante varias horas en unos tanques de retención. Así disminuía la temperatura del agua y bajaba el nivel de actividad, debido a la desaparición de los radionucleidos de vida corta. Después de este periodo de enfriamiento, el agua se devolvía al río y con ella se vehiculizaban los radionucleidos de vidas medias y largas.

Hubo muchas fugas de radionucleidos en los elementos combustibles que contribuyeron a contaminar el río día a día. No obstante,



► Figura 8. El reactor B de Hanford y sus instalaciones accesorias. El edificio de contención del reactor (105), situado en el centro derecha de la imagen está formado por una serie de cuerpos paralelepípedicos adosados. El más alto protege las barras de seguridad de accionamiento vertical. La chimenea de la ventilación, en el centro de la fotografía, está unida al edificio principal por un edificio de filtros estrecho y largo. Un cuerpo bajo justo detrás de la chimenea corresponde a la piscina de almacenamiento del combustible irradiado. Lo más notable por sus grandes dimensiones son los edificios de suministro del agua de refrigeración. Junto al río Columbia al fondo, se observa la silueta del edificio de bombeo (181). El agua se lleva a un segundo edificio (182) que contiene un gran depósito y bombas que conducen el agua a una sala de filtros y tratamiento químico (183). Este conjunto, de forma alargada, es el de mayores dimensiones de la instalación y se observa en el fondo, a la izquierda de la foto. El agua pasa a continuación a otro gran edificio alargado (190) provisto de diez chimeneas que contiene los tanques de almacenamiento de agua depurada y las bombas de impulsión de ésta hacia el núcleo del reactor. Después de refrigerar el núcleo, el agua se dirige a los tanques de retención situados a la derecha del reactor (102) y de allí es devuelta al río. Muy característicos de todos los reactores de Hanford son los dos depósitos elevados para el agua de refrigeración de emergencia del núcleo situados a ambos lados de cada reactor. Nota: Los números entre paréntesis representan la denominación dada a los edificios en todos los reactores.

cuando se detectaba un fallo en un combustible, el agua de refrigeración se desviaba a zanjas y contenedores preparados al efecto, donde quedaba retenida durante un plazo de tiempo más largo que el habitual.

El hecho de devolver el agua de refrigeración al río supuso una contaminación reiterada del río, potenciada más todavía al surgir las roturas de vainas. La cantidad de radionucleidos arrojados al río es impresionante (ver tabla 2 en la página siguiente). El problema de la contaminación del río quedó

resuelto años más tarde cuando, finalmente, se sustituyó (a partir de la construcción del reactor N) la refrigeración en circuito abierto por la refrigeración en circuito cerrado.

6.5. La protección del personal

Las normas de seguridad eran rigurosas en parte porque se ignoraban los efectos sobre los organismos vivos de las radiaciones gamma, las partículas alfa y beta y los neutrones. En esta línea se creó un grupo sanitario, se le dotó de instrumentos y se realizaron ensayos clínicos para in-

● Tabla 2. Radionucleidos vertidos al río Columbia en Hanford.

Año	Fallos en el combustible	Curios vertidos*
1944	—	82.287
1945	—	596.844
1946	—	515.692
1947	—	350.420
1948	2	465.889
1949	0	762.021
1950	3	1.145.197
1951	151	1.389.819

*Se han contabilizado los siguientes radionucleidos: Na-24, P-32, Sc-46, Cr-51, Mn-56, Zn-65, Ga-72, As-76, Y-90, I-131, Np-239 y las emisiones beta.

tentar detectar los síntomas de la exposición y los efectos de las radiaciones así como la evaluación de los blindajes biológicos.

Los operadores se adiestraron en Argonne y en Oak Ridge. Curiosamente, la sala de control de los primeros reactores de Hanford sorprende por no ser mucho más complicada que la de sus antecesores experimentales (figura 9). El manejo de los combustibles irradiados se realizaba por control remoto y en instalaciones blindadas contra las radiaciones. También se adoptaron medidas muy estrictas para el manejo de los productos de fisión.

Un aspecto de la seguridad que se cuidó particularmente fue la seguridad personal de los trabajadores. La seguridad convencional propiamente del trabajo estuvo sujeta a una normativa muy estricta que se recordaba de forma reiterada al personal. Se prestó una gran atención a la protección radiológica, empezando por definir zonas de radiación dentro de la instalación según categorías radiológicas. Se establecieron detalladamente todos los requisitos necesarios a cumplir por el personal: equipos personales, instrumentos, monitores y dosímetros.



● Figura 9. Aunque el Centro de Hanford se encuentra en fase de desmantelamiento, los responsables han tenido el buen gusto de conservar el reactor B como un monumento histórico americano. Aquí se muestra la sala de control del reactor, muy simple como se observa a simple vista, a pesar de que en su época última el reactor trabajaba a 1.950 MWt.

normas de actuación, descripción de accidentes radiológicos, tomas de muestras, etcétera.

6.6. El accidente severo

Un problema que no tuvo resuelto Hanford en principio, pero que en su momento se implementó, fue el caso de un accidente de explosión o de fusión en el núcleo, o sea el de un accidente severo. No existían sistemas, por ejemplo filtros, preparados para impedir la dispersión al medio ambiente de los radionucleidos liberados correspondientes. Afortunadamente no se presentó el caso. La necesidad de introducir mecanismos para paliar los efectos de un accidente severo fue puesto de manifiesto desde el primer momento por un comité para las salvaguardias de los reactores, creado con motivo de la puesta a punto de los reactores de Hanford. Inmediatamente fue comunicado a la recientemente creada Atomic Energy Commission (AEC). El problema todavía tardó diez años en resolverse.

6.7. Las redundancias

En Hanford se introdujo la filosofía de la redundancia, la cual era doble en algunos sistemas y triple en los sistemas de mayor riesgo. En caso de fallos en el caudal de agua de re-

frigeración o de temperatura elevada, la parada del reactor se podía producir automáticamente o también manualmente en el caso de fallar la primera. En los cincuenta se incorporó un sistema adicional de parada de emergencia, la introducción de bolas de boro en los canales del grafito.

El suministro de agua de refrigeración disponía de tres sistemas que entraban en funcionamiento sucesivamente en caso de avería del anterior, como se ha visto al describir el sistema de refrigeración.

Los sistemas de los reactores estaban alimentados por dos suministros eléctricos independientes para prevenir el fallo de uno de ellos. Las funciones importantes contaban, además, con el apoyo de un grupo electrógeno de emergencia.

7. La implantación de la seguridad nuclear

Las normas de seguridad, tal como se entienden en la actualidad, no empezaron a aplicarse a fondo en Hanford hasta que la seguridad nuclear como doctrina no estuvo suficiente madura, o sea mediada la década de los cincuenta. Esto se encuentra fuera, por tanto, del periodo histórico considerado en este artículo, que abarca la vida y la influencia directa

de Fermi. Por la circunstancia temporal apuntada no me he detenido en la descripción de los sistemas y procedimientos de seguridad introducidos en Hanford a partir de esas fechas. Sin embargo, es necesario reconocer que desde esos momentos y a consecuencia de los problemas planteados, empezó a actuar pujante la seguridad nuclear. Cuando tuvieron lugar las nuevas implementaciones, Hanford constituía el único gran complejo nuclear de potencia a nivel mundial. Por tanto, sirvió de banco de prueba para muchos procedimientos y sistemas de seguridad que se han incorporado a las instalaciones nucleares posteriores.

8. Epílogo

Es verdaderamente sorprendente comparar las formas tan diferentes de abordar actualmente los proyectos tecnológicos nucleares y las que tuvo que vivir Fermi. En los proyectos actuales se trata, por un lado, de ensamblar una serie de piezas todas perfectamente conocidas y desarrolladas por especialistas experimentados: obra civil, vasija del reactor, bombas y válvulas de todo tipo, combustible, componentes nucleares, ventilación y acondicionamiento de locales, tratamiento del agua, turbogeneradores, instrumentación y control, transporte de material combustible, salvaguardias, generación, gestión y tratamiento de residuos radiactivos, etcétera. Por otro lado, hay que aplicar toda la normativa en los

estudios previos y en la elaboración de documentos, para su aprobación por parte de las autoridades. Finalmente, hay que respetar una serie de plazos y formalidades legales. Todas las innovaciones deben contar con un alto grado de garantía y no se permite ninguna improvisación.

En la época de Fermi, y a la hora de proyectar un reactor, podían ignorarse muchas variables de la futura instalación: la forma de envasar el combustible, el comportamiento del moderador, el efecto real del blindaje biológico, la refrigeración más adecuada, etcétera. Todo ello se iba ensayando, desarrollando y optimizando mientras se construía la obra, pero, además, llevaba implícita la filosofía de la seguridad, desde el momento en que se tenían en cuenta los márgenes, las tolerancias y la garantía para el buen funcionamiento. La historia ha demostrado que las realizaciones nucleares donde intervino Fermi no sufrieron accidentes nucleares graves.

Al finalizar la Guerra Mundial, la energía nuclear se empezó a popularizar y a extender a otros países aliados. El verdadero *boom*, ya a nivel mundial, tuvo que esperar al movimiento para el empleo de la energía atómica con fines pacíficos que surgió en 1950 y se conoció como *Átomos para la paz*.

Muy pronto se crearon en los Estados Unidos organismos nacionales para desarrollar y respon-

sabilizarse de la seguridad nuclear relacionada con los nuevos reactores. En 1946 se creó la ya citada Atomic Energy Commission (AEC) para centralizar todas las actividades nucleares. Dentro de la AEC se creó, en 1947, el Comité para las Medidas de Seguridad en el Empleo de los Reactores y, en 1949, el Comité Industrial para los Problemas del Emplazamiento de los Reactores. A continuación, los dos comités se asociaron en un único, el Comité Asesor para las Medidas de Seguridad en el Empleo de los Reactores, que fue el responsable de estudiar los riesgos relacionados con los reactores nucleares.

En los años cincuenta empezó a aparecer literatura abundante sobre estudios de riesgos, procedimientos, criterios, salvaguardias y seguridad de los reactores y plantas nucleares. Un trabajo interesante, que muestra las inquietudes y los planes de la época en materia de seguridad nuclear de los reactores nucleares, fue presentado en la primera conferencia internacional sobre los usos pacíficos de la energía atómica que tuvo lugar en Ginebra en 1955⁶. Allí se citan otros trabajos sobre seguridad nuclear realizados a comienzos de la década. ☺

⁶McCullough, C.R., Mills, M. M. y Teller, E. *Medidas de seguridad necesarias en el empleo de reactores nucleares*, citado en la bibliografía.

Bibliografía

— *Directory of Nuclear Reactors, vol. II. Research, Test and Experimental Reactors*. IAEA. Viena, 1959.
 — *Directory of Nuclear Reactors, vol. VI. Research, Test and Experimental Reactors*. IAEA. Viena, 1966.
 — Gerber, M. *Plutonium production story at the Hanford site*. Doc. WHC-MR-0521. Universidad de California (1999).
 — Goldschmidt, B. *Las rivalidades atómicas 1936-1968*. Sección de Publicaciones de la JEN. Madrid, 1969.

— *Hanford Site Reactor Interim Safe Storage (ISS)*. U.S. Department of Energy, Office of Science and Technology (EM-50) y Bechtel Hanford, Inc.
 — McCullough, C.R., Mills, M.M. y Teller, E. *Medidas de seguridad necesarias en el empleo de reactores nucleares*. Conferencia Internacional sobre los usos pacíficos de la Energía Atómica. Ginebra, 1955. P/853.
 — Mataix, M. *Dé Bequerel a Oppenheimer, historia de la energía nuclear*. Sen-

da Editorial. Madrid, 1988.

— ORNL. *The first fifty years* (1990).

— Segrè, E.: *Enrico Fermi physicist*. The University of Chicago Press. Chicago, 1970.

— Thomson, S. *Breeding in the Reactors*. Documento WHC-MR-0521 (2002).

— De Wolf Smyth, H. *La Energía Atómica al servicio de la Guerra*. Espasa-Calpe Argentina. Buenos Aires, 1946.

— www.hanford.gov/docs/r1-97-1047reactor_ops/

La Comisión Europea presentó, a finales de 2002, una propuesta para definir un verdadero enfoque comunitario en materia de seguridad nuclear y avanzar hacia soluciones sostenibles para la gestión de los residuos radiactivos, todo ello dentro de los compromisos adquiridos en el seguimiento del Libro Verde Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético. En este sentido, la Comisión ha trabajado en un conjunto de medidas con vistas a la adopción de una directiva

marco sobre seguridad de las instalaciones nucleares, otra sobre residuos radiactivos y una decisión del Consejo por la que se autoriza a la Comisión a negociar un acuerdo entre Euratom y la Federación Rusa sobre el comercio de materiales nucleares, todas ellas en proceso de comentarios. En la Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo, cuyo texto íntegro se presenta, se argumentan los motivos fundamentales para la adopción de estas medidas.

Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo
Bruselas, 6.11.2002. COM(2002) 605 final

La seguridad nuclear en el marco de la Unión Europea

INTRODUCCIÓN

1. El Libro Verde "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético", adoptado por la Comisión el 29 de noviembre de 2000¹, permitió entablar un debate desapasionado, objetivo y abierto sobre la energía nuclear. El 26 de junio de 2002, la Comisión adoptó el informe final sobre el Libro Verde², en el que se indica que *"el abanico de posibilidades de los Estados miembros, sin perjuicio de la soberanía de sus decisiones en la materia, debe seguir siendo lo más amplio posible. La opción nuclear sigue abierta en los Estados de la Unión Europea que lo deseen."*
2. Las actividades nucleares civiles en la Unión Europea se rigen por el Tratado Euratom firmado en 1957. En virtud de este tratado, se creó una Agencia de Abastecimiento encargada de velar por el abastecimiento regular y equitativo de los usuarios europeos en materiales nucleares, así como un control de seguridad Euratom encargado de compro-

bar que los materiales nucleares no se destinen a usos distintos de los declarados. Se asignan 250 inspectores a esta tarea. El informe de febrero de 2002 del grupo de expertos de alto nivel designado por la Comisión consideró que para comprender en su conjunto el concepto de seguridad nuclear, convenía explorar la posibilidad de ampliar la misión de los inspectores al ámbito de la protección física³. El dispositivo establecido por el Tratado y la legislación comunitaria garantizan el control de los materiales nucleares más eficaz del mundo. En efecto, la complementariedad de las actividades de la Agencia de Abastecimiento y del control de seguridad Euratom define los contornos de la competencia global de la Unión sobre todo el ciclo del combustible, tanto en lo que se refiere a los materiales nucleares como a los residuos.

Sin embargo, la primera misión del Tratado Euratom consistía en velar por la explotación de las instalaciones nucleares en buenas condiciones de seguridad gracias, entre otras cosas, a la instauración de una política de protección sanitaria. Se desarrolló un dispositivo legislativo específico importante —

¹ COM(2000)769 de 29 de noviembre de 2000: "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético", Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2001, ISBN 92-894-0319-5.

² COM(2002) 321 final de 26 de junio 2002: Informe final sobre el Libro Verde "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético".

³ SEC(2002) 658 - Comunicación de la Sra. de Palacio de acuerdo con el Sr. Kinnock relativa a la misión de la Oficina de Control de Seguridad de Euratom y la revisión del organigrama de la Dirección General de Energía y Transportes, aprobada el 26 de junio de 2002.

distinto del elaborado bajo los auspicios del Organismo Internacional de Energía Atómica— en el sector de la protección radiológica. Resulta paradójico que la seguridad de las instalaciones nucleares no haya registrado un desarrollo similar, cuando se encarga precisamente de garantizar la protección concreta de las poblaciones contra las radiaciones ionizantes, máxime si se tiene en cuenta que la Comisión dispone desde hace muchos años, a través del Centro Común de Investigación (CCI), de un peritaje técnico innegable. Conviene completar las disposiciones en materia de protección radiológica mediante normas comunes de seguridad, tal como solicitaron tanto el Consejo Europeo, especialmente con motivo de la reunión de Laeken, como el Parlamento Europeo en su informe Rübig, adoptado el 8 de julio de 2002, relativo al informe de la Comisión sobre el funcionamiento de la Oficina de Control de Seguridad Euratom en 1999-2000.

3. La próxima ampliación a países de Europa Central y Oriental, cuya primera etapa se producirá en el año 2004, no tiene precedentes en la historia de la construcción comunitaria. La historia de estos países en el siglo XX y las características de su evolución económica han resaltado un tema poco abordado en las anteriores ampliaciones, el del sector nuclear. Tal como destacó el Libro Verde sobre la seguridad del abastecimiento energético, tanto la dependencia energética frente a las importaciones como el balance energético de los países candidatos difieren poco de la situación en que se encuentra la Unión Europea de 15 Estados miembros. No obstante, el sector nuclear deberá ser objeto de una mayor atención en el marco de una Unión Europea ampliada.

De los países candidatos, siete disponen de centrales nucleares, con un total de 22 reactores. En el año 2004, entrarán Estado miembro la Unión 19 reactores nucleares, explotados en 5 de los 10 países de la ampliación. Las características de sus relaciones con la Federación Rusa, derivadas de la antigua dependencia a la Unión Soviética, y la obligación de asumir el acervo de disposiciones legales comunitarias, han puesto de manifiesto la necesidad objetiva de una intervención comunitaria en el sector nuclear, independientemente de las opciones de política energética actuales o futuras de estos nuevos países o de los antiguos Estados miembros.

4. Esta quinta ampliación ha resaltado los temas relacionados con la seguridad nuclear. La Agenda 2000 determinó en un principio, tras el análisis realizado por los órganos reguladores, los reactores que en un futuro próximo debían ser desmantelados por no poderse mejorar con un coste económico razonable. A continuación, una evaluación de la seguridad de los demás reactores e instalaciones nucleares llevó al Consejo, en cooperación con la Comisión, a emitir orientaciones claras sobre las mejoras que debían aportarse para que los países candidatos puedan alcanzar el alto nivel de seguridad que exigió el Consejo Europeo de Colonia (junio de 1999).

Este ejercicio de evaluación comunitario *sui generis* ha permitido alcanzar una perspectiva europea de seguridad nuclear y fue ratificado por el Consejo Europeo de Laeken de diciembre de 2001. En esta cumbre se solicitó la presentación periódica de informes sobre la seguridad nuclear en la Unión Europea. Para ello es preciso disponer de un marco de referencia comunitario sobre las normas de seguridad nuclear. La Comunidad ha podido realizar acciones concretas en materia de seguridad nuclear de las instalaciones nucleares, esencialmente en favor de los países candidatos. Nos hallamos, por tanto, en una situación un tanto paradójica, en que la intervención de la Comunidad en materia de seguridad nuclear en terceros países es reconocida y acogida con satisfacción a escala internacional, mientras que su acción interna sigue estando limitada.

5. Muchas instalaciones nucleares de la Unión Europea están llegando al final de su período de explotación. Algunos Estados están reflexionando sobre el mantenimiento de las instalaciones nucleares en su territorio, como Bélgica. Alemania ya ha dado el paso y cerrará definitivamente su última central en el año 2021. En los países candidatos, ocho centrales nucleares deberán cerrarse entre los años 2002 y 2009. Esta situación, independiente de las opciones energéticas de los Estados miembros, pone de manifiesto la necesidad para el sector eléctrico de aplicar un dispositivo claro, para todos los Estados miembros y los países candidatos, sobre los fondos de desmantelamiento de las centrales. Este dispositivo deberá garantizar que las operaciones de desmantelamiento se hagan en las mejores condiciones de seguridad. Pero el desmantelamiento de centrales nucleares requiere el compromiso de importes financieros considerables. Los importes necesarios para lograr la rehabilitación del emplazamiento representan un 15% aproximadamente del coste total de la inversión por reactor desmantelado, lo que puede oscilar entre 200 millones de euros y más de mil millones.

Si los Estados miembros que disponen de centrales nucleares han previsto disposiciones financieras para garantizar la disponibilidad de fondos suficientes que les permitan hacer frente a los gastos derivados de las actividades de desmantelamiento, el enfoque en cuanto a la normativa aplicable a estos fondos varía considerablemente en función de los Estados miembros. Además, la situación actual supone disparidades perjudiciales para el buen funcionamiento del mercado interior y desfavorables para una competencia sana en el sector eléctrico.

El Parlamento Europeo se hizo eco (en el debate en torno a la propuesta de Directiva sobre las normas comunes del mercado interior de la energía) de los efectos perversos para la competencia de una utilización inadecuada de los fondos de desmantelamiento. En efecto, conviene garantizar la disponibilidad suficiente de fondos de desmantelamiento para las actividades de clausura pero tam-

bién conviene garantizar que se destinarán exclusivamente a estas actividades.

Los países candidatos disponen de una legislación similar sobre la constitución de este tipo de fondo, pero los fondos disponibles suelen ser insuficientes, ya que empezaron a constituirse tarde. Para los cierres anticipados de centrales, la falta de fondos es aún más acuciante. Si bien es cierto que tanto el programa PHARE como los préstamos Euratom pueden solventar y compensar en parte estas carencias, tanto la realización del mercado interior como la protección del medio ambiente requieren que unas normas comunitarias en la Unión ampliada garanticen la disponibilidad y la adecuación de los importes.

6. Cualquiera que sea el futuro del sector nuclear, cualesquiera que sean sus utilizaciones, energéticas o médicas, cualquiera que sea la posición, favorable u hostil, ante la energía nuclear, los residuos radiactivos resultantes requieren soluciones radicales. El informe final sobre el Libro Verde destaca que *"una enseñanza fundamental del debate sobre el Libro Verde es que el futuro de esa opción exige una respuesta clara, segura y transparente a la cuestión del tratamiento de los residuos radiactivos y de su transporte"*.

Los residuos radiactivos de alta actividad no han sido objeto, hasta la fecha, de una política activa en favor del almacenamiento definitivo. Los residuos radiactivos de alta actividad llevan casi medio siglo acumulándose en condiciones de almacenamiento variables en los Estados miembros y los países candidatos, en las centrales (como elementos de combustible irradiado) o en lugares de almacenamiento intermedios. Este método de almacenamiento temporal y, a menudo, superficial, de momento permanente, suscita preocupación, tras los acontecimientos del 11 de septiembre de 2001, por la vulnerabilidad de estos lugares.

Tal como destacó el Libro Verde sobre la seguridad del abastecimiento energético, la opción nuclear sólo podrá mantenerse si se halla para el tema de los residuos nucleares una solución satisfactoria y con la mayor transparencia. Las encuestas realizadas recientemente por la Comisión⁵ han confirmado este análisis y han puesto de manifiesto que la definición clara de una política de gestión de los residuos permitiría mejorar sensiblemente la aceptabilidad de la energía nuclear por parte del público. Conviene que la Unión se cerciore de que los Estados miembros adopten las decisiones oportu-

nas en un plazo razonable y teniendo en cuenta a las generaciones futuras.

Para la mayoría de los expertos, el almacenamiento definitivo profundo es la mejor solución de gestión a largo plazo de los residuos radiactivos. Las investigaciones sobre las tecnologías de gestión de los residuos, que permitan reducir la presencia de elementos radiactivos de vida larga, no constituyen una alternativa a la posibilidad del almacenamiento geológico. Deben proseguirse para que las generaciones futuras puedan recurrir a nuevas tecnologías de tratamiento de residuos, como por ejemplo la transmutación, con la esperanza de que, en el momento oportuno, puedan reducirse de forma significativa los residuos enterrados. Así pues, el Sexto Programa Marco de Investigación (2002-2006) ha asignado un presupuesto de 90 millones de euros para la investigación sobre los residuos radiactivos. El CCI, por su parte, dedicará en el Sexto Programa Marco de Investigación esfuerzos significativos sobre la investigación en materia de gestión de los residuos radiactivos.

7. La ampliación también ha dado un enfoque nuevo a las dificultades existentes, y nunca resueltas, del comercio de materiales nucleares con la Federación Rusa. Rusia es un proveedor importante de materiales nucleares (uranio natural y servicios de enriquecimiento). Desde principios de los años 90, Rusia ha vendido en el mercado mayores cantidades de uranio natural y, sobre todo, servicios de enriquecimiento de uranio a precios inferiores a los del mercado mundial.

Esta situación llevó a la Agencia de Abastecimiento de Euratom, a partir de 1992, a establecer una política de diversificación de las fuentes de suministro, para evitar una dependencia excesiva frente a los NEI. No pudo concretarse un primer proyecto de acuerdo sobre el comercio de los materiales nucleares, ya que la parte rusa echó un pulso a la UE para obtener condiciones más favorables. Las negociaciones entabladas posteriormente en el marco del Acuerdo de Asociación y Cooperación (firmado en Corfú el 24 de junio de 1994) tampoco concluyeron con éxito y se eludió el tema del comercio de materiales nucleares⁶.

A falta de acuerdo entre las partes, el Consejo y la Comisión adoptaron una declaración conjunta (la denominada "Declaración de Corfú"), por la que debe mantenerse un límite máximo para los enriquecedores europeos de un 80% aproximadamente del mercado europeo. También se afirma el principio de un límite para el uranio natural.

Aprovechando el diálogo energético iniciado entre Rusia y la Unión Europea desde octubre de 2000, las pretensiones rusas se volvieron más apre-

⁴ Habida cuenta de la importancia del transporte de materiales radiactivos, la Comisión tiene previsto presentar una Comunicación específica al respecto, a la que se adjuntarán, si procede, propuestas legislativas en este ámbito.

⁵ Una encuesta realizada en octubre y noviembre de 2001 para la Comisión Europea muestra que la mayor parte de los encuestados (2/3) considera que si la gestión de los residuos nucleares encuentra una solución de seguridad satisfactoria, la energía nuclear deberá seguir siendo una posibilidad abierta para la producción de electricidad. (Eurobarómetro 2001 – Opinión Pública en Europa sobre los residuos nucleares).

⁶ A falta de acuerdo entre las dos partes, no se trata directamente del comercio de los materiales nucleares. El artículo 22 estipula en efecto que "... las partes acuerdan tomar todas las medidas necesarias para llegar a un acuerdo que cubra el comercio de materiales nucleares a más tardar el 1 de enero de 1997".

⁷ Nunca ha sido objeto de publicación.

miantes, alegando la incompatibilidad de las medidas adoptadas en el marco de la Declaración de Corfú con las normas del Comercio internacional de la OMC, y manteniendo a sabiendas una confusión en cuanto a la existencia de una cuota del 30% sobre todos los productos energéticos importados en la Unión. Esta situación afecta a las negociaciones sobre los demás temas de interés común. Cada encuentro oficial, incluidas las cumbres UE-Rusia, constituye una nueva oportunidad que la parte rusa aprovecha para indignarse por las limitaciones impuestas y reclamar una solución satisfactoria sobre el comercio de materiales nucleares bloqueada desde 1994. La Cumbre UE-Rusia de 29 de mayo de 2002 concluyó lo siguiente: *"The existing situation with respect to the import of nuclear materials to the EU member-states is a matter of concern for Russia side. We agreed in accordance with article 22 of the PCA and in the context of EU enlargement, to reach a mutually acceptable solution"*⁸.

El contexto del mercado de los materiales nucleares ha cambiado mucho desde el principio de los años 90, tanto en el mundo en general como en Europa y en Rusia. Los acuerdos de desmantelamiento de las armas nucleares, pero sobre todo la perspectiva de la ampliación a países con centrales nucleares de tipo soviético y cuyo proveedor de combustible es casi exclusivamente Rusia, llevaron a reflexionar sobre una nueva perspectiva a largo plazo para la política de suministro vigente. Para la Unión Europea, también es el momento oportuno para hacer valer ante las autoridades rusas que la apertura de las negociaciones sobre el comercio de los materiales nucleares debería permitir iniciar en paralelo debates concretos sobre la seguridad de las centrales de primera generación que aún se hallan en funcionamiento en Rusia.

8. La falta de marco de referencia comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones y la incertidumbre en cuanto a los recursos financieros al servicio de la seguridad de los desmantelamientos, la falta de soluciones seguras para la gestión de los residuos y la falta de marco para el comercio de los materiales nucleares con Rusia constituyen toda una serie de sectores en los que conviene completar la normativa comunitaria.

La Comisión responde a estos desafíos y cumple el compromiso contraído el 26 de junio de 2002, al aprobar el informe sobre el seguimiento del Libro Verde, de presentar en breve una propuesta que permita definir un verdadero enfoque comunitario en materia de seguridad nuclear y avanzar rápidamente hacia soluciones sostenibles en lo que se refiere a la gestión de los residuos radiactivos.

A. UN ENFOQUE GLOBAL DE LA SEGURIDAD NUCLEAR EN LA UNIÓN, DEL DISEÑO AL DESMANTELAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

1. La seguridad de las instalaciones nucleares: una competencia comunitaria que conviene profundizar

1.1. Reforzar la seguridad de las instalaciones nucleares: un imperativo en una Unión ampliada

a. Medios insuficientes en la Unión

El Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom) incluye disposiciones que permiten a la Comunidad enmarcar la utilización que hacen los Estados miembros de la energía nuclear, especialmente en dos ámbitos, el control de seguridad y la protección sanitaria.

La seguridad nuclear⁹ es competencia de la Comunidad en virtud de la aplicación del capítulo 7 del Tratado Euratom. Un cuerpo de 250 inspectores, que pertenecen a la Oficina del control de seguridad de Euratom, efectúa dicho control para garantizar que los materiales nucleares no se destinen a usos distintos de los declarados.

La seguridad operativa¹⁰ de las instalaciones nucleares¹¹ no constituye una competencia establecida de forma tan explícita por el Tratado Euratom. Cuando se negoció el Tratado en la década de los años cincuenta, la industria nuclear era un sector incipiente. Huelga decir que en aquel contexto lo importante era fomentar el sector nuclear, por lo que la seguridad de las instalaciones nucleares se incluyó entre las responsabilidades de los operadores nucleares, bajo el control de sus órganos nacionales.

La letra b) del artículo 2 del Tratado Euratom dispone que la Comunidad deberá, en las condiciones previstas en el Tratado, *"establecer normas de seguridad uniformes para la protección sanitaria de la población y de los trabajadores y velar por su aplicación"*. El capítulo 3 del Tratado, relativo a la protección sanitaria, incluye disposiciones sobre las normas básicas de protección contra las radiaciones ionizantes.

El capítulo 3 del Tratado se ha utilizado ante todo en el ámbito de la protección radiológica. Las preocupaciones al respecto llevaban muchos años presentes cuando se redactó el Tratado, aunque sólo fuera por la utilización de la radiactividad en el ámbito médico. En efecto, la protección radiológica surgió como una disciplina

⁹ La seguridad física de las instalaciones nucleares se refiere a las medidas relacionadas con el acceso, la protección y la utilización de los materiales nucleares y de las sustancias radioactivas. Concretamente, abarca la protección física y los controles de no proliferación.

¹⁰ La seguridad operativa de las instalaciones nucleares se refiere a las medidas establecidas para garantizar un diseño y una explotación eficaces y seguros de las instalaciones nucleares.

¹¹ Por instalaciones nucleares se entiende comúnmente las instalaciones del ciclo del combustible nuclear (en particular, los reactores civiles, de investigación, los centros de reprocesamiento, de enriquecimiento, etc.).

⁸ Joint Statement, Moscow, by V.V. Putin, President of the Russian Federation, J.M. Aznar, President of the European Council/High representative for Common Foreign and Security Policy of the EU, and R. Prodi, President of the Commission of the European Communities, Moscow 29 May 2002, Annex 2.

derivada de la radiología médica, para proteger al personal médico que recurría a los generadores de rayos X.

Ahora bien, es innegable que el mantenimiento de un alto nivel de seguridad nuclear figura entre las misiones asignadas a la Comunidad Europea de la Energía Atómica. La seguridad nuclear y la protección radiológica constituyen hoy en día dos conceptos íntimamente vinculados que responden a un objetivo de protección sanitario común. Por consiguiente, ya no es posible ni deseable mantener una frontera entre estas dos disciplinas.

Hasta la fecha, la Comunidad no ha ejercido plenamente sus competencias en materia de seguridad nuclear. No obstante, la Comisión lleva más de 25 años interviniendo de forma activa en la armonización de las prácticas de seguridad nuclear, especialmente con arreglo a las Resoluciones del Consejo del 22 de julio de 1975¹² y de 18 de junio de 1992¹³, relativas a los problemas tecnológicos de seguridad nuclear¹⁴. La perspectiva de la ampliación ha recalado la necesidad de emprender una acción más determinada.

Tras el accidente de Chernóbil, en 1986, sin lugar a dudas el accidente más grave de la era atómica, y la cumbre del G7 de Munich de 1992, la Unión comenzó a preocuparse por la seguridad de las instalaciones nucleares de los Países de Europa Central y Oriental y de las Repúblicas de la Antigua Unión Soviética.

Las actividades realizadas en el contexto comunitario para dotar a las instalaciones nucleares de los países candidatos de un alto nivel de seguridad han permitido destacar una perspectiva europea al respecto. Esta perspectiva, que ha sido desarrollada para los países candidatos, tiene, sin embargo, vocación universal y debe constituir la base de un método de referencia para la evaluación de la seguridad de las instalaciones nucleares de los Estados miembros, en el marco de un enfoque comunitario.

Las normas elaboradas bajo los auspicios del Organismo Internacional de Energía Atómica constituyen una contribución importante al refuerzo de la seguridad nuclear. Ahora bien, no son vinculantes desde el punto de vista jurídico y no siempre pueden aplicarse directamente a las realidades tecnológicas de la Industria nuclear europea. Por otra parte, los procesos de adopción y adaptación comunitarios son mucho más rápidos que los mecanismos de decisión intergubernamentales. De hecho, se trata de un problema que ya ha debido afrontar la Comunidad Europea en el ámbito marítimo y aéreo.

La protección contra las radiaciones ionizantes es una preocupación que rebasa el período de explotación de una instalación nuclear. El cierre definitivo de una instalación nuclear marca el comienzo de una nueva fase cuyo objetivo es liberar a ésta de las restricciones en materia de protección radiológica derivadas de su funcionamiento. Estas restricciones se deben a la presencia de grandes cantidades de materiales radioactivos, tanto en los componentes estructurales, como en los equipos, los residuos operativos y el combustible gastado.

Resulta, por tanto, necesario retirar estos materiales y tratarlos de forma adecuada según sus características físicas y su nivel de radiactividad, respetando las normas de seguridad vigentes. Todas estas actividades, comprendidas en el concepto de desmantelamiento, producen una gran cantidad de residuos. La gestión definitiva de los residuos radioactivos es la parte más costosa de los costes totales de desmantelamiento.

A escala nacional también existen disposiciones jurídicas por las que se instituye una estrategia de desmantelamiento de las instalaciones nucleares. Estas disposiciones determinan las responsabilidades de las diferentes actividades y prevén unos mecanismos para constituir unos recursos financieros suficientes para hacer frente a los gastos derivados de dichas actividades en cada fase del proceso de desmantelamiento, incluida la gestión a largo plazo de los residuos radioactivos y del combustible gastado.

Hay que subrayar que las cantidades pueden variar mucho según los países, no sólo como consecuencia del tamaño del parque, sino de los distintos métodos utilizados para estimar la dotación asignada a los desmantelamientos. Ésta dependerá en gran medida de las estrategias de desmantelamiento utilizadas, de los métodos de cálculo de futuros costes financieros y de las previsiones de evolución de las variables financieras. El enfoque en cuanto a la normativa sobre los recursos financieros para el desmantelamiento también varía de forma significativa entre los Estados miembros de la Unión.

Dado que los operadores del sector nuclear no están a salvo de riesgos financieros, se plantea la cuestión de las consecuencias que podría tener una eventual indisponibilidad de reservas. La posibilidad de que un Estado tenga que hacerse cargo de los costes de desmantelamiento, por falta de solvencia del operador responsable, no resulta justificable desde el punto de vista del contribuyente, ni aceptable para otros operadores que hubieran abastecido sus reservas de forma más adecuada o las hubieran gestionado mejor.

Las operaciones de desmantelamiento requieren importantes recursos financieros. Con el fin de apartar cualquier peligro para la salud de las personas y del medio ambiente, es preciso garantizar a escala comunitaria que los recursos financieros estarán disponibles para la realización de las actividades de desmantelamiento de las instalaciones nucleares, en cumplimiento de las normas de seguridad. Para ello, deben establecerse normas específicas para la constitución de fondos de desmantelamiento, a los que los operadores de instalaciones nucleares deberán contribuir durante todo el período de funcionamiento de la instalación. Dichas normas específicas deberán garantizar la disponibilidad y la adecuación de los fondos en las operaciones de desmantelamiento.

b. Evaluación de la Comisión y del Consejo para los países candidatos

A falta de una referencia común en este ámbito, para proceder a este ejercicio fue necesaria la elaboración de una metodología de evaluación por la Comisión y el Consejo. Al margen de este proceso, el contencioso entre

¹² DO C 185 de 14.8.1975, p. 1.

¹³ DO C 172 de 18.6.1992, p. 2.

¹⁴ Debe entenderse "seguridad operativa". Esta confusión entre seguridad física y seguridad operativa es frecuente. Procede de la traducción del término inglés "safety".

las autoridades austriacas y checas respecto de la central de Temelin ilustró perfectamente la necesidad de disponer de un método de referencia común.

b.1 Metodología de evaluación

La Comisión y el Consejo desarrollaron, en el año 2000, una metodología basada en textos o trabajos de valor jurídico diferente. Se identificaron dos elementos principales. Por una parte, la Convención sobre seguridad nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica y por otra, lo que el Consejo calificó de "*principios comunes y opiniones de la Unión*". En efecto, se indicó que existe actualmente en la Unión un alto grado de convergencia en materia de exigencias técnicas y organizativas.

La metodología elegida para definir un alto nivel de seguridad nuclear que los países candidatos deben alcanzar consiste en comparar las prácticas y normativas vigentes en los países candidatos con las de los Estados miembros. Esta metodología tiene vocación universal y constituye las bases de un método de referencia para evaluar la seguridad de las instalaciones nucleares.

La evaluación que realizaron en el año 2001 la Comisión y el Consejo, en función de esta metodología, permitió elaborar recomendaciones que la Comisión remitió a cada país candidato en julio de 2001. En ellas se indica que deben considerarse especificaciones de la posición común de la Unión sobre el capítulo relacionado con la energía (capítulo 14) en lo que se refiere a la seguridad nuclear. Se ha solicitado de los países candidatos que las acepten formalmente e indiquen un calendario para su aplicación.

Cabe destacar dos elementos fundamentales de esta evaluación. Por una parte, la confirmación de la necesidad de cerrar los reactores que no puedan alcanzar razonablemente un alto nivel de seguridad nuclear (Kozloduy 1-4 en Bulgaria, Ignalina 1-2 en Lituania y Bohunice V1 en Eslovaquia). Por otra, el hecho de que la seguridad de los otros reactores de los países candidatos puede alcanzar, mediante mejoras de importancia variable, un nivel comparable al que existe hoy en día en la Unión Europea para reactores equivalentes.

La aplicación de estas recomendaciones ha sido objeto de un seguimiento por la Comisión y el Consejo. Las actividades se iniciaron en enero de 2002 y concluyeron con un Informe de situación sobre la evaluación *inter pares*, publicado en junio de 2002. Con todo, la aplicación de algunas recomendaciones se efectuará a lo largo de varios años, incluso tras la fecha de la ampliación, y deberá instituirse un seguimiento para garantizar el cumplimiento de los compromisos contraídos por estos países antes de su adhesión.

De no existir un marco de referencia común para el seguimiento de las recomendaciones en el período posterior a la adhesión, podría reprocharse a la Unión una disparidad de comportamiento entre los países candidatos a la adhesión y los Estados miembros actuales. Para unos, la Unión mantendría un derecho de supervisión en lo que se refiere a la seguridad de las instalaciones nucleares, mientras que para los demás no intervendría. Esta situación no sería equitativa.

b.2 El caso particular de Temelin

En la perspectiva del período posterior a la adhesión, la resolución de conflicto entre las autoridades checas y austriacas respecto de la puesta en marcha de la central de Temelin, ubicada en la República Checa en las inmediaciones de la frontera austriaca, constituye un caso especialmente interesante.

En efecto, la puesta en marcha de la central de Temelin supuso un deterioro considerable de las relaciones entre ambos países. La Comisión realizó una labor de conciliación para facilitar el diálogo entre las autoridades checas y austriacas, que se concretó en la firma en Melk, en diciembre de 2000, de un protocolo entre las autoridades austriacas y checas, con la participación de la Comisión.

En aplicación del capítulo IV de dicho protocolo, relativo a la seguridad nuclear, la República Checa, Austria y la Comisión iniciaron un diálogo tripartito respecto de 29 temas que preocupaban a las autoridades austriacas. El informe final de los debates celebrados en este contexto destaca que, si bien es cierto que no se ha alcanzado un acuerdo sobre todos los temas, si se ha alcanzado el objetivo del denominado "proceso de Melk", a saber, facilitar el diálogo entre ambos Estados.

Gracias a la intervención de la Comisión, la República Checa y Austria pudieron reanudar los debates en un contexto menos apasionado. El 29 de noviembre de 2001 ambos Estados autorizaron, siempre bajo la mediación de la Comisión, un proceso de seguimiento del protocolo de Melk, que se aplicará en virtud de un acuerdo bilateral entre ambos Estados. En aplicación de este acuerdo, Austria podrá acogerse a un derecho de supervisión en lo que se refiere a la seguridad de una instalación nuclear checa.

Este derecho de supervisión de un Estado sobre la seguridad nuclear de una instalación de otro Estado es un mecanismo atípico. Huelga decir que si hubiesen existido normas comunes de seguridad, la solución habría sido mucho más sencilla. Dichas normas habrían servido de referencia para Austria y habrían sido adoptadas por la República Checa en el contexto de la adopción del acervo comunitario. Y la Comisión habría intervenido, de forma natural, para comprobar que dicha adopción del acervo se efectuaba de forma conveniente.

Por último, es preciso tener en cuenta que, al margen de este proceso, la Comisión y el Consejo evaluaron la seguridad de la central de Temelin, al igual que las demás instalaciones nucleares de los países candidatos. Los resultados de esta evaluación han demostrado que esta central, con la aplicación de las recomendaciones propuestas, presenta un nivel de seguridad nuclear satisfactorio.

Ha llegado el momento para la Comunidad de ejercer plenamente sus competencias en materia de seguridad nuclear. En efecto, resultaría paradójico que la Comunidad pudiese intervenir para evaluar la seguridad de las instalaciones nucleares de los países candidatos y que su actuación en una Unión ampliada permaneciese limitada. La Comunidad dispone para ello de un fundamento jurídico adaptado.

1.2. Medios jurídicos para reforzar

la seguridad de las instalaciones nucleares

Hoy en día, ya no conviene considerar la seguridad nuclear en una perspectiva meramente nacional. Sólo un enfoque común puede garantizar el mantenimiento de un alto nivel de seguridad nuclear en una Unión ampliada con 28 Estados miembros. Una actuación comunitaria al respecto debe basarse en un fundamento jurídico sólido inscrito en los textos fundadores. Sólo sobre esta base podrá desarrollarse un nuevo enfoque en materia de seguridad nuclear. A.

Al tratarse de un ámbito que afecta a las utilizaciones de la energía nuclear, es natural buscar el fundamento jurídico en el Tratado Euratom. Las disposiciones del Tratado sobre protección sanitaria ofrecen un marco general en el que se incluyen, de forma intrínseca, los elementos que constituyen el fundamento jurídico de las competencias comunitarias en materia de seguridad nuclear y que permiten la evolución de las normas básicas. Además, más allá de los aspectos meramente jurídicos, el Consejo reconoce esta competencia.

a. Una competencia comunitaria

El preámbulo del Tratado Euratom dispone que los Estados miembros están "resueltos a crear las condiciones para el desarrollo de una potente industria nuclear" y "preocupados por establecer las condiciones de seguridad que eviten todo riesgo para la vida y la salud de las poblaciones". Por otra parte, con arreglo a la letra b) del artículo 2, la Comunidad deberá "establecer normas de seguridad uniformes para la protección sanitaria de la población y de los trabajadores y velar por su aplicación".

El capítulo 3 del Tratado, relativo a la protección sanitaria, incluye disposiciones sobre las normas básicas de protección contra las radiaciones ionizantes. Los padres fundadores del Tratado procuraron dotar a la Comunidad de competencias explícitas en materia de protección sanitaria, en su doble vertiente de protección radiológica y seguridad nuclear.

La protección radiológica puede definirse como el conjunto de medidas destinadas a proteger al hombre y al medio ambiente contra las radiaciones ionizantes. La seguridad, por su parte, se refiere a las medidas destinadas a establecer y mantener, en las instalaciones nucleares, defensas eficaces contra los posibles riesgos radiológicos para proteger a los individuos, a la sociedad y al medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes emitidas por dichas instalaciones. Ambas disciplinas tienen un objetivo de protección sanitaria común: la protección contra las radiaciones ionizantes.

La lectura de las conclusiones del abogado general, en el marco del recurso de la Comisión contra la decisión del Consejo por la que se autoriza a la Comunidad a adherirse a la Convención sobre seguridad nuclear¹⁵, aporta enseñanzas sumamente interesantes

al respecto. En efecto, el abogado general resalta que "a la luz de los actuales conocimientos científicos, no es posible ni deseable mantener barreras artificiales entre las disciplinas de la protección radiológica y la seguridad nuclear." Asimismo, subraya que "el hecho de que los Estados miembros mantengan sus competencias exclusivas sobre los aspectos tecnológicos de la seguridad nuclear no impide que la Comunidad adopte normas que establezcan ciertos requisitos en materia de seguridad, autorización, inspección y evaluación o determinados mecanismos de ejecución".

Este análisis tiende a confirmar el vínculo íntimo que existe entre ambos conceptos. Las competencias de la Comunidad se extienden más allá de la protección radiológica *stricto sensu*. Tal como destaca el abogado general en sus conclusiones mencionadas, "una interpretación conforme a la práctica ulterior es particularmente legítima y adecuada cuando las disposiciones de que se trata se redactaron hace largo tiempo, cuando no se han modificado desde entonces". El Tratado Euratom, se redactó en los años cincuenta y desde entonces no ha sido modificado en su esencia. Cabe recordar por último que la jurisprudencia del Tribunal de Justicia confirmó que el objetivo de la protección radiológica debe ser objeto de una interpretación amplia.

Las disposiciones del capítulo 3 del Tratado Euratom permiten afirmar que la Comunidad dispone de competencias en materia de seguridad de las instalaciones nucleares. Las normas básicas mencionadas en el artículo 30 deben completarse para cubrir este ámbito. Para ello, el artículo 32 prevé que las normas básicas puedan ser revisadas o completadas. Así, los redactores del Tratado crearon un sistema que puede evolucionar y que permite a la Comunidad no sólo modificar su política sanitaria sino también ampliar su ámbito de aplicación. Conviene recordar a este respecto que el derecho derivado del título II, capítulo 3, del Tratado Euratom, cuyo acto principal es la Directiva 96/29/Euratom¹⁶, representa un conjunto coherente y evolutivo que reúne hoy en día unos veinte actos, más o menos vinculantes, por los que se regula, en particular, las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes¹⁷, la información en caso de emergencia radiológica¹⁸, las transferencias de residuos radiactivos y de sustancias radiactivas¹⁹, etc.

b. Una competencia reconocida por el Consejo

Con el desarrollo de la industria nuclear europea, se observó la necesidad de una convergencia a escala comunitaria para apoyar a los Estados miembros en sus esfuerzos de armonización de las prácticas de seguridad. La Resolución del Consejo de 22 de julio de 1975, relativa a los problemas tecnológicos de seguridad nuclear, reconoció que correspondía a la Comisión "ejercer un papel de catalizador de las iniciativas"

¹⁵ DO L 159 de 29.06.1996, p. 1

¹⁷ Directiva 97/43/Euratom, DO L 180 de 9.7.1997, p. 22.

¹⁸ Decisión 87/600/Euratom, DO L 371 de 30.12.1987, p. 76 y Directiva 89/618, DO L 357 de 7.12.1989, p. 31.

¹⁹ Directiva 92/3/Euratom, DO L 35, de 12.2.1992, p. 24 y Reglamento (Euratom) n° 1493/93, DO L 148 de 19.6.1993, p. 1.

¹⁵ Conclusiones del abogado general Jacobs presentadas el 13 de diciembre de 2001, asunto C-29/99.

adoptadas a escala internacional en materia de seguridad nuclear. Teniendo en mente esta Resolución, la Comisión ha creado varios grupos de expertos para los temas de seguridad nuclear. Estos grupos, en los que participan representantes de los órganos reguladores de los Estados miembros, han contribuido de forma activa a la armonización de las prácticas en materia de seguridad nuclear. A raíz de otra Resolución del Consejo, de 18 de junio de 1992, la participación en estos grupos de expertos pudo ampliarse a representantes de los Países de Europa Central y Oriental (PECO) y de las Repúblicas de la Antigua Unión Soviética (NEI).

En este mismo contexto, cabe recordar asimismo que el Centro Común de Investigación (CCI) lleva muchos años siendo un protagonista destacado en el ámbito de la investigación para mejorar la seguridad de las instalaciones nucleares. Su experiencia y sus conocimientos técnicos en materia de seguridad del ciclo del combustible y de seguridad de los reactores son innegables y son reconocidos a escala internacional. El CCI también asiste a la Comisión en la evaluación de las ofertas y resultados de las acciones realizadas en el marco de los programas PHARE y TACIS.

Mediante Decisión de 21 de marzo de 1994, el Consejo habilitó a la Comisión a contraer empréstitos cuyo producto se destinará, en forma de préstamos, a la financiación de proyectos para reforzar la seguridad y la eficacia del parque nuclear de algunos PECO y NEI. Se ha recurrido a este mecanismo, en particular, para mejorar la seguridad de los reactores 5 y 6 de la central de Kozloduy en Bulgaria. Por último, cabe recordar que desde 1990 la Comunidad ha asignado unos 220 millones de euros para mejorar la seguridad de las instalaciones nucleares de los países candidatos.

Como se ha indicado anteriormente, el Consejo Europeo de Colonia, celebrado en junio de 1999, solicitó de la Comisión que velara por la aplicación de elevadas normas de seguridad en Europa Central y Oriental. A raíz de esta solicitud, la Comisión y el Consejo realizaron la evaluación de la seguridad de las instalaciones nucleares de los países candidatos en el año 2001, lo que permitió destacar una perspectiva europea en materia de seguridad nuclear que fue aprobada por los quince Estados miembros y por la Comisión.

Una situación en que la intervención de la Comunidad en materia de seguridad nuclear se reconoce y acoge con satisfacción a escala internacional, mientras que su actuación interna sigue estando limitada, no podía mantenerse en vísperas de una ampliación sin precedentes, en que las cuestiones de seguridad nuclear revisten una importancia fundamental. El Consejo Europeo de Laeken, celebrado en diciembre de 2001, ratificó la transición de una reflexión en la perspectiva de la ampliación hacia una visión política global en la Unión ampliada. En efecto, en las conclusiones de esta reunión se indica que *"el Consejo Europeo se compromete a mantener un alto nivel de seguridad nuclear en la Unión. Insiste en la necesidad de vigilancia de la protección y seguridad de las centrales nucleares en sus distintos aspectos. Solicita informes pe-*

riódicos de los expertos en energía atómica de los Estados miembros, que mantendrán estrechos contactos con la Comisión".

Las conclusiones del Consejo de Laeken constituyen una transposición, a la Unión Europea, de las conclusiones del Consejo de Colonia, referidas a los países candidatos a la adhesión. En efecto, el objetivo de ambos documentos es común, a saber, el mantenimiento de un alto nivel de seguridad nuclear. Dado que la metodología elaborada para la evaluación de la seguridad de las instalaciones nucleares de los países candidatos tiene *"vocación universal"*, en declaraciones del Consejo, deberá poder utilizarse para una evaluación comparable en la Unión.

La Comisión considera que hoy en día se reúnen las condiciones jurídicas y políticas para establecer un sistema comunitario de seguridad de las instalaciones nucleares.

2. Un nuevo enfoque en materia de seguridad de las instalaciones nucleares

Hoy en día es necesario un enfoque común. En efecto, permitirá disponer de un marco jurídico vinculante, de un marco único de control y de un criterio único de interpretación de las normas. Un enfoque comunitario de seguridad de las instalaciones nucleares debe incluir dos vertientes, tal como ocurre con los sistemas nacionales existentes: por una parte, un conjunto de normas y, por otra, un mecanismo que permita comprobar su cumplimiento. Este mecanismo deberá permitir, si procede, sancionar el incumplimiento de las normas comunitarias.

2.1 Normas comunes

Un enfoque comunitario de seguridad de las instalaciones nucleares no supone necesariamente decretar normas técnicas detalladas de seguridad. En efecto, no se trata de duplicar lo que ya existe en los Estados miembros.

Así pues, es preciso tener en cuenta las disposiciones vigentes en los Estados miembros. No obstante, debe admitirse que, pese a una armonización cada vez mayor al respecto, las medidas de seguridad nuclear siguen siendo muy distintas entre los Estados miembros. Esta diversidad de normas y principios nacionales no impide alcanzar un alto nivel de seguridad nuclear en la Unión. Sin embargo, no se garantiza su mantenimiento y este debería ser el cometido concreto del enfoque comunitario.

a. Normas vigentes

Existe un conjunto de principios que pueden constituir la base de un enfoque comunitario vinculante desde el punto de vista jurídico. Éstos podrían recogerse en una Directiva del Consejo que inicialmente se base, sobre todo, en los elementos contenidos en el Convenio sobre Seguridad Nuclear del OIEA. Dicha Convención no incluye normas técnicas detalladas. Sin embargo, establece un marco jurídico preciso que constituye la base de un sistema de seguridad nuclear. Todos los Estados

miembros y la mayor parte de los países candidatos (con excepción de Estonia y Malta) son partes de la Convención sobre Seguridad Nuclear.

No obstante, es necesario tener en cuenta que el ámbito de aplicación de la Convención se limita a las centrales electrónicas. Habida cuenta del desarrollo de la industria nuclear europea, convendría establecer un sistema cuyo ámbito de aplicación sea más amplio, para abarcar todas las instalaciones nucleares civiles.

La formalización de estas normas en un texto comunitario constituye un complemento de las normas básicas previstas en el artículo 30 del Tratado Euratom, con el objetivo de incluir el ámbito de la seguridad de las instalaciones nucleares. Desde la entrada en vigor del Tratado, varias directivas han revisado estas normas, siendo la última revisión la que figura en la Directiva 96/29/Euratom de 13 de mayo de 1996²⁰. No se tratará en este caso de revisar esta Directiva por la que se establecen las normas básicas, sino de elaborar una Directiva nueva que venga a completarlas. El concepto de norma básica deberá cubrir en la práctica dos realidades, la protección radiológica y la seguridad de las instalaciones nucleares.

Huelga decir que este enfoque comunitario de seguridad no podrá limitarse únicamente a una recopilación de las disposiciones pertinentes de la Convención sobre seguridad nuclear. Ahora bien, éstas podrán constituir el punto de partida, no conflictivo, ya que todos los Estados miembros deben estar aplicándolas, al que vendrán a sumarse otros elementos para constituir un dispositivo vinculante desde el punto de vista jurídico para los Estados miembros.

b. Normas evolutivas

La evolución de las normas comunes en materia de seguridad de las instalaciones nucleares constituye una revisión de las mismas y debe, por tanto, ajustarse a un procedimiento determinado, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 32 del Tratado Euratom. El artículo 31 prevé al respecto que las normas básicas serán elaboradas por la Comisión, previo dictamen de un grupo de personalidades designadas por el Comité Científico y Técnico entre los expertos científicos de los Estados miembros y previo dictamen del Comité Económico y Social. Previa consulta al Parlamento Europeo, le corresponde al Consejo, por mayoría cualificada y a propuesta de la Comisión, determinar las normas básicas.

Concretamente, la evolución de las normas europeas de seguridad deberá tener en cuenta los resultados de la labor del OIEA en el ámbito de la seguridad nuclear. En efecto, el OIEA lleva muchos años trabajando en este ámbito. En particular, deberán tenerse en cuenta los resultados de las actividades del Nuclear Regulator's Working Group (NRWG), y muy especialmente las posiciones comunes elaboradas por este grupo, así como la labor de la Western European

Nuclear Regulators Association (WENRA) en materia de armonización. La metodología elaborada por la Comisión y el Consejo para la evaluación de la seguridad de las instalaciones nucleares de los países candidatos también será un elemento importante que deberá tenerse en cuenta.

Al tratarse de un ámbito en el que ya existen disposiciones nacionales importantes, conviene que la Comisión pueda aprovechar la competencia de los expertos en materia de seguridad para que la evolución de las normas comunes se haga de forma armonizada. Para ello, deberá recurrir al Comité previsto en el artículo 31 del Tratado Euratom.

El sistema comunitario se basará, inicialmente, en principios generales. Ahora bien, elaborará un marco jurídico en el que se incluirá un mecanismo que permita la evolución de estas normas. Una de las primeras tareas encomendadas al Comité del artículo 31 será definir orientaciones, sobre la base de los estudios mencionados, para elaborar un corpus de normas operativas que puedan servir de referencia común. En función de dichas normas, podrán efectuarse comprobaciones en los Estados miembros. Para evitar posibles diferencias de trato entre los Estados miembros actuales y los nuevos Estados miembros de la adhesión, el dispositivo jurídico deberá ser operativo en la fecha de ampliación de la Unión, el 1 de enero de 2004. Esta fecha señalará el principio de la aplicación concreta de este enfoque comunitario, que luego irá evolucionando.

Las normas comunes se inscriben en un proceso dinámico. No se trata de definir un corpus de normas técnicas aplicables a las instalaciones nucleares. El objetivo de las normas comunitarias será garantizar que se mantenga un alto nivel de seguridad nuclear en la Unión. Por consiguiente, es necesario que este sistema se base en las competencias de los órganos reguladores nacionales. El sistema comunitario constituye un complemento de los sistemas nacionales.

c. Informes periódicos

Tal como ocurre con la Convención sobre seguridad nuclear, y a modo de prolongación de las conclusiones del Consejo Europeo de Laeken, los Estados miembros tendrán la obligación de presentar informes sobre las medidas adoptadas para asumir sus obligaciones y sobre el estado de seguridad de las instalaciones bajo su control. Estos informes serán objeto de un examen por parte de los Estados miembros y de la Comisión, en el contexto de un mecanismo de "revisión *inter pares*".

2.2. Un sistema de comprobaciones independiente

La creación de un sistema de comprobaciones independiente es un elemento imprescindible en un enfoque comunitario de seguridad de las instalaciones nucleares. A diferencia de las inspecciones realizadas por la Oficina del Control de Seguridad de Euratom, cuya frecuencia en una misma instalación puede ser elevada por la sensibilidad de los materiales nucleares en

²⁰ DO L 159 de 29.6.1996, p. 1.

lo que se refiere a la no proliferación, la frecuencia de las comprobaciones en materia de seguridad nuclear no tiene por qué ser muy elevada.

El sistema de comprobación también debe basarse parcialmente en las competencias técnicas de los órganos reguladores nacionales. Por consiguiente, no es necesario recurrir a un cuerpo de inspectores comunitario, como sucede para el control de seguridad de los materiales nucleares. El control comunitario procurará comprobar la forma en que los órganos reguladores cumplen su misión. Su vocación no es comprobar *in situ* las condiciones de seguridad de las instalaciones nucleares.

Este sistema debería ser mejor aceptado por los Estados miembros. Presenta la ventaja de poder disponer de expertos en seguridad nuclear sin incidencias presupuestarias importantes, o al menos sin parangón con las que se derivarían de la creación de un cuerpo de inspectores permanentes. Así pues, este sistema está perfectamente adaptado a las características de las actividades que han de ser realizadas. Los Estados miembros tendrán la obligación de designar expertos, indicando sus ámbitos de competencia, a los que pueda recurrir la Comisión para las comprobaciones independientes que deban realizarse en los Estados miembros. Obviamente, corresponderá exclusivamente a la Comisión determinar las comprobaciones y sus posibles consecuencias. A principios de cada año, la Comisión elaborará un programa de las comprobaciones que se propone realizar en el transcurso del año. Tras aprobarlo, se pondrá en contacto con los expertos, previamente designados por los órganos reguladores, a los que piense recurrir, para cerciorarse de su disponibilidad en las fechas previstas. En la medida de lo posible, la Comisión procurará no perturbar el funcionamiento habitual de los órganos reguladores al pedir la puesta a disposición de estos expertos.

Los expertos recibirán con la debida antelación todos los documentos necesarios para realizar su misión de comprobación. Se celebrará una reunión de coordinación previa en los locales de la Comisión. Se enviará una notificación por la que se anuncia la comprobación a las autoridades del Estado miembro en que se realizará la comprobación. Este último tendrá la facultad de impugnar, previa justificación, la composición del equipo de expertos habilitados para la comprobación.

Partiendo de los informes consecutivos a las comprobaciones, la Comisión podrá formular observaciones y, en situaciones extremas, incluso preconizar el cierre de una instalación. Por otra parte, la Comisión tendrá la obligación de presentar cada dos años un informe sobre el estado de la seguridad nuclear en la Unión Europea.

Como ya se ha mencionado, la necesidad de una protección contra las radiaciones ionizantes no concluye con el final de la explotación de una instalación nuclear. Las preocupaciones en materia de seguridad subsisten, en grado distinto, durante las operaciones de desmantelamiento.

3. Recursos financieros adecuados al servicio de la seguridad

3.1. Cerciorarse de la disponibilidad de fondos para el desmantelamiento

El mantenimiento de un alto nivel de seguridad de las instalaciones nucleares, tanto en la fase de explotación como de desmantelamiento, requiere la disponibilidad de los recursos adecuados.

El desmantelamiento de una instalación nuclear es una operación pesada desde un punto de vista industrial, que puede llevar muchos años. Los costes asociados a las operaciones de desmantelamiento pueden ser muy elevados. Para asumirlos, es necesario disponer de recursos financieros, que deberán haber sido reservados por el operador durante el funcionamiento de la instalación nuclear. En efecto, es imprescindible que, en el momento oportuno, puedan realizarse estas operaciones cumpliendo un alto nivel de seguridad.

La preocupación fundamental del público, de las autoridades nacionales y de los operadores es garantizar que en las operaciones de desmantelamiento se cumplan todas las obligaciones en materia de seguridad y protección radiológica. Es necesario que para el desmantelamiento de instalaciones nucleares se disponga de los recursos financieros necesarios.

Es indispensable impedir que el desmantelamiento de una instalación nuclear no pueda empezar tal como está previsto, no se lleve a cabo según los procedimientos adecuados o sea abandonado en curso de realización debido a falta de recursos.

La consecuencia de una situación de este tipo sería la presencia de unas cantidades importantes de materiales radioactivos en condiciones inaceptables de vigilancia y de gestión, con graves consecuencias desde el punto de vista de la seguridad radiológica. En tal situación dejaría de cumplirse uno de los objetivos fundamentales del Tratado Euratom. En efecto, como ya hemos mencionado, en virtud del artículo 2 de dicho Tratado, la Comunidad deberá "establecer normas de seguridad uniformes para la protección sanitaria de la población y de los trabajadores y velar por su aplicación". Por ello, la Comunidad ha adoptado normas básicas en materia de protección radiológica²¹. El Capítulo III del Tratado Euratom constituye, por lo tanto, el fundamento jurídico en el que se basa la intervención de la Comunidad en este ámbito.

Hoy en día, los operadores recurren a la constitución de reservas internas en el balance de la empresa o a contribuciones a fondos externos previstos con tal fin por diversos mecanismos.

La producción de electricidad de origen nuclear se efectúa en centrales nucleares cuyo período de explotación es muy prolongado. Como promedio es de cuarenta años (salvo decisión política de supresión de centrales nucleares o de prolongación del período de explotación de las instalaciones). Tratándose del desmantelamiento, teniendo en cuenta las cantidades de que se trata, y a pesar de lo diferido de su utilización,

²¹ COM 96/29 Euratom.

ya desde el momento de la producción en la instalación nuclear el operador debe tener previstos, no sólo los aspectos tecnológicos, sociales y económicos relativos al coste de producción, sino también la viabilidad financiera del proyecto en su conjunto, incluido el desmantelamiento de las instalaciones.

Incluso si se constituyen reservas destinadas a permitir la realización del desmantelamiento y garantizar la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado, la cuestión fundamental que se plantea es la de asegurar la existencia de dichos recursos a largo plazo, es decir, después de un período de varias décadas. Así pues, la constitución de unos fondos de desmantelamiento externos, ajenos a los operadores y destinados específicamente al desmantelamiento de sus instalaciones, es la mejor opción para alcanzar el objetivo con todas las condiciones de seguridad necesarias. En caso de que razones excepcionales, debidamente justificadas, no permitiesen una separación de este tipo, el operador podría mantener la gestión de los fondos, siempre que se garantice la disponibilidad de los activos constituidos para sufragar las operaciones de desmantelamiento.

Sobre la base de los informes presentados regularmente por los Estados miembros y con periodicidad trianual, la Comisión realizará un informe periódico sobre la situación de los fondos y, en su caso, tomará las medidas necesarias para dar solución a las situaciones anómalas que pudieran presentarse y comprometer la realización de los desmantelamientos, o falsear las condiciones de la competencia en el mercado de la electricidad.

La creación de fondos externos, administrados de acuerdo con el principio de prudencia, permite garantizar la disponibilidad de los fondos a largo plazo para que se mantenga un alto nivel de seguridad nuclear en la totalidad de las operaciones de desmantelamiento.

La necesidad de armonizar los métodos de estimación de costes de desmantelamiento ha sido ya puesta de relieve anteriormente. Hay que prever igualmente unas medidas transitorias que permitan, llegado el caso, que las empresas implicadas puedan minimizar el impacto de la transferencia de cantidades importantes hacia fondos externos.

La Comisión tiene previsto un período transitorio que podría ser al menos de tres años tras la entrada en vigor de las disposiciones de los actos por los que se incorpora la Directiva adoptada por el Consejo al ordenamiento de los Estados miembros.

3.2. Situación de los países candidatos

En junio de 1999, el Consejo de Colonia solicitó de la Comisión que velara por la aplicación de normas elevadas de seguridad en Europa Central y Oriental. En función de ese mandato, la Comisión procedió en dos etapas: en primer lugar, determinó los reactores que convenía cerrar; a continuación elaboró, con el Consejo, una metodología para evaluar la seguridad de las instalaciones nucleares de los países candidatos.

Tal como se indica en el Libro Verde, existen incertidumbres en cuanto al porvenir del sector nuclear

en Europa, ya que depende de varios factores, entre los que figura la seguridad de los reactores de los países candidatos. En este contexto, la Unión solicitó de algunos de estos países que cerraran determinados reactores nucleares. A modo de contrapartida, la Unión participa en los costes de desmantelamiento y ofrece medios de financiación.

a. Reactores afectados

El cierre anticipado de reactores nucleares afecta a tres países candidatos: Bulgaria (Kozloduy 1 a 4), Lituania (Ignalina 1 y 2) y Eslovaquia (Bohunice 1 y 2). En junio de 2002, Lituania se comprometió a cerrar el reactor Ignalina 2 antes del año 2009. La Comisión espera que Bulgaria tome a su vez, este año, una decisión sobre el cierre anticipado de los reactores 3 y 4 de Kozloduy. La Unión Europea considera que el cierre debería producirse en el año 2006. Las fechas de cierre deberán confirmarse en los Tratados de adhesión.

Varios expertos internacionales han considerado que estos reactores presentan fallos importantes de diseño que no pueden ser solventados de forma realista y con un coste razonable. Por otra parte, el informe de la Western European Nuclear Regulators Association²² (WENRA), que reúne a los responsables de los órganos reguladores de nueve Estados miembros de la Unión, publicado en marzo de 1999, afirma claramente que, pese a todos los esfuerzos de mejora emprendidos en las unidades afectadas, no podrán alcanzar un grado de seguridad aceptable a tenor de las normas occidentales.

La Comisión se basó en informes de expertos internacionales para redactar la Agenda 2000 que confirma las fechas de cierre de cinco unidades y determina que en el año 2002 deberán tomarse las decisiones definitivas en lo que se refiere a otros tres reactores.

b. Coste del desmantelamiento y medios de financiación

La Comunidad, por medio del Programa PHARE, lleva varios años financiando proyectos en el sector nuclear de los países candidatos, varios de ellos relacionados con las actividades para una clausura definitiva: tratamiento de residuos, almacenamiento de combustible, planificación de las actividades, etc.

b.1 Costes elevados para el desmantelamiento

Por medio del programa PHARE, la Comunidad es el principal contribuidor a los fondos internacionales de desmantelamiento administrados por el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo (BERD). En efecto, en lo que se refiere a los tres países afectados por el cierre anticipado de centrales, todo indica que los fondos nacionales creados para el desmantelamiento no dispondrán de recursos suficientes para cubrir la totalidad de las actividades necesarias para un desmontaje completo.

²² Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Italia, Países Bajos, Reino Unido y Suecia.

Con motivo de su última reunión en Bruselas, los días 24 y 25 de octubre de 2002, el Consejo Europeo recordó que "en vista de que Lituania ha confirmado que la Unidad 1 de la central nuclear de Ignalina se cerrará antes de 2005 y se ha comprometido a que la Unidad 2 esté cerrada a más tardar en 2009, se establecerá un programa de actividades de apoyo relacionadas con el desmantelamiento de la central nuclear de Ignalina". Asimismo, indicó que "los créditos de compromiso previstos para este programa ascenderán a 70 millones de euros anuales entre 2004 y 2006". Por último, recordó que "la Unión Europea, en solidaridad con Lituania, confirma que está dispuesta a proporcionar ayuda comunitaria adicional suficiente para el esfuerzo de desmantelamiento posterior a 2006".

El Consejo Europeo indicó asimismo que "para la continuación de la ayuda de preadhesión prevista en PHARE destinada al desmantelamiento de la central nuclear de Bohunice en Eslovaquia, se prevén 20 millones de euros en créditos de compromiso anuales entre 2004 y 2006".

El Consejo Europeo precisó que "las cifras estimadas se revisarán según corresponda sobre la base del perfil del gasto para las actividades de desmantelamiento de los fondos destinados al desmantelamiento de Ignalina y Bohunice. Los compromisos de PHARE están en el caso de Ignalina por encima de las expectativas, y en el de Bohunice, por debajo".

b.2 Perspectivas financieras

La Comisión no ha asumido compromisos más allá del año 2006, aunque en los años siguientes aparecerán las necesidades más importantes de financiación, si se cumplen los calendarios de desmantelamiento anunciados.

Es cierto que las reticencias de Lituania y Bulgaria para asumir compromisos de cierre estaban relacionadas con la falta de un compromiso financiero claro por parte de la Comisión, especialmente para el período 2007-2010. Corresponde por tanto a la Comisión prestar especial atención a estos dos países en la preparación del próximo paquete financiero.

B. LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO Y LOS RESIDUOS RADIATIVOS

Medio siglo de desarrollo de la energía nuclear en el mundo y de acumulación de residuos radiactivos no ha dado lugar a políticas nacionales, ni en Europa ni en el resto del mundo, que permitan resolver de manera definitiva los problemas creados por todos los residuos de origen nuclear. Sin embargo, como ha destacado el Libro Verde sobre la seguridad del abastecimiento energético²³, la opción nuclear sólo puede mantenerse si la cuestión de los residuos encuentra, por fin, una solución satisfactoria de la manera más transparente. Las encuestas

realizadas últimamente por la Comisión²⁴ han confirmado que una gestión de los residuos segura y fiable es un aspecto insoslayable en cualquier debate sobre el futuro de la energía nuclear.

El problema se centra sobre todo en los residuos más peligrosos de la etapa final del ciclo del combustible, que representan el 5% del volumen total de los residuos nucleares pero concentran el 95% de la radiactividad. Estos residuos se almacenan actualmente en superficie o cerca de la superficie en instalaciones de almacenamiento provisional. Esta forma de almacenamiento, que actualmente es de duración indeterminada, suscita inquietud en cuanto a la vulnerabilidad de las instalaciones, especialmente tras los acontecimientos del 11 de septiembre del 2001.

En consecuencia, continúa buscándose una solución para el almacenamiento definitivo de residuos. Es necesario mejorar las posibilidades de almacenamiento basándose en los adelantos tecnológicos más recientes y garantizando el nivel de seguridad más alto posible.

Basándose en estas experiencias, se puede afirmar que la alternativa de almacenar en depósitos profundos es, hoy en día, la opción más factible y fiable, y que las técnicas de construcción y de funcionamiento están suficientemente maduras para ponerse en práctica. En este campo, existen varios laboratorios subterráneos a través de la Unión Europea y en Suiza para el estudio detallado de las capas geológicas más prometedoras. En Europa, Suecia y Finlandia han optado ya por el almacenamiento profundo y han emprendido las primeras investigaciones de viabilidad. No obstante, el almacenamiento de los residuos en los emplazamientos elegidos no podrá ser realidad antes del período 2015-2020. Las estimaciones sobre los costes de almacenamiento varían según los países pero representan un porcentaje reducido del coste total del kWh.

Aunque el almacenamiento geológico profundo constituye una solución definitiva, si en el futuro se encuentran soluciones tecnológicas más avanzadas, con un mayor nivel de seguridad y por un coste razonable, puede pensarse en una recuperación ulterior de los residuos. Esta recuperación es posible gracias a la estrategia fundamental de "concentrar y confinar", que asegura que los residuos se mantengan aislados del medio ambiente y estables durante siglos después de su enterramiento.

Las nuevas tecnologías de tratamiento de residuos, que permiten reducir la presencia de elementos radiactivos de vida larga, no constituyen una alternativa al almacenamiento geológico pero representan una estrategia complementaria importante. Paralelamente al desarrollo de las instalaciones de almacenamiento profundo, hay que continuar desarrollando nuevas tecnologías para ofrecer a las generaciones futuras la posibilidad de recurrir al tratamiento más eficaz de los residuos, como las tecnologías de "separación y transmutación", por ejemplo. Por eso, el Sexto Programa Marco de Investigación

²³ COM(2000)769 de 29 de noviembre de 2000. "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético", Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2001, ISBN 92-894-0319-5.

²⁴ Eurobarómetro nº. 56, 2001 - Los europeos y los residuos radiactivos (http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/pdf/eb56_rad-waste_en.pdf).

de Euratom para 2002-2006 ha asignado una parte de los fondos disponibles para los residuos radiactivos a la investigación sobre las nuevas tecnologías, en paralelo a actividades de investigación sobre los depósitos. Independientemente de las opciones de política energética que se pongan en práctica en el futuro, no es concebible que los residuos existentes no se almacenen de manera que se salvaguarde a largo plazo la salud pública y la protección del medio ambiente.

1. Gestión de residuos: problemas pendientes de resolución

La energía nuclear se explota con fines civiles desde hace cinco décadas. Las cantidades de residuos acumulados a lo largo de este período pueden calificarse de limitadas en volumen y la cuestión del destino que debía dárseles no se puso en primer plano desde el principio. En cualquier caso, resulta necesario no trasladar a las generaciones futuras la resolución de la gestión a largo plazo de estos residuos.

1.1. Situación actual

Las actividades principales que dan lugar a residuos radiactivos son:

- la producción de electricidad nuclear, comprendidas las actividades de la última fase del ciclo de combustible y el desmantelamiento;
- el funcionamiento de los reactores de investigación;
- la utilización de las radiaciones y los materiales radiactivos en la medicina, la agricultura, la industria y la investigación;
- el tratamiento de los materiales que contienen radionúclidos naturales.

a. Situación en la Unión Europea

En total, se producen al año unos 40.000 metros cúbicos de residuos en toda la Unión Europea, la mayor parte de los cuales procede de las actividades relacionadas con la producción de electricidad nuclear.

Aunque el almacenamiento definitivo de los residuos de más baja actividad y de vida corta puede hacerse según una tecnología bien conocida, sólo se practica en cinco Estados miembros que disponen de reactores nucleares (Finlandia, Francia, España, Suecia y Reino Unido). En Alemania, se han llevado a cabo actividades de almacenamiento definitivo de este tipo de residuos, pero ni Bélgica ni los Países Bajos han desarrollado esta opción y ambos almacenan actualmente sus residuos en instalaciones nacionales centralizadas y temporales. En los Estados miembros sin programa nuclear también se lleva a cabo un almacenamiento provisional parecido, de duración indeterminada.

Los combustibles gastados y los residuos de alta actividad y vida larga se almacenan cerca de las centrales o en instalaciones de reprocesamiento o bien en cualquier otra instalación donde se produzcan, en espera de una solución permanente. Ningún país del mundo ha llevado a cabo todavía la eliminación de estos residuos y el grado de avance hacia esta solución permanente varía considerablemente de un país a otro. En la Unión Europea, Finlandia y Suecia son quizás los más avanzados,

con programas establecidos desde hace mucho tiempo para el desarrollo de la evacuación a gran profundidad. Sin embargo, incluso en Finlandia, la autorización final para el desarrollo de la instalación única que se está investigando actualmente sólo podrá darse dentro de, como mínimo, ocho años. En Bélgica, se vienen haciendo trabajos de investigación en profundidad desde hace años. En Francia, se está excavando actualmente el pozo de acceso a un laboratorio subterráneo. Alemania dispone de un emplazamiento prometedor, que no puede utilizarse por el momento por razones políticas. Algunos Estados miembros están revisando toda su soluciones, así como los procedimientos de decisión correspondientes. Otros, no obstante, practican una política de esperar a ver cómo evoluciona la situación.

b. Precariedad del almacenamiento en los países candidatos

En los países candidatos que disponen de centrales nucleares y de reactores de investigación construidos por la Unión Soviética, la gestión del combustible gastado se ha convertido en una cuestión crucial durante la última década porque la devolución de los residuos a Rusia para su reprocesamiento o almacenamiento ya no puede hacerse en las mismas condiciones. Con toda urgencia, estos países han tenido que construir instalaciones de almacenamiento temporal para su combustible gastado. Se han hecho pocos progresos o ninguno para la aplicación de verdaderos programas de gestión a más largo plazo de este combustible.

En lo que se refiere a los residuos operativos menos peligrosos de las centrales nucleares, sólo la República Checa y Eslovaquia disponen de instalaciones de almacenamiento en servicio. Varios países disponen de depósitos de concepción rusa para los residuos radiactivos que no provienen del ciclo del combustible nuclear. No obstante, estas instalaciones no siempre satisfacen las normas de seguridad en vigor en la Unión. En algunos casos, podría ser necesario recuperar los residuos y evacuarlos a otras instalaciones.

1.2. Carácter limitado de las disposiciones comunitarias e internacionales

Los principios que rigen la gestión de todos los residuos peligrosos tienen que garantizar un nivel elevado de seguridad del público y de los trabajadores, así como la protección del medio ambiente. Para el combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, la aplicación de estos principios ha de asegurar que las personas, la sociedad y el medio ambiente queden protegidos contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

En los últimos años, estos principios también han servido de guía a la actuación a escala comunitaria, que ha consistido en trabajos de investigación y en iniciativas tanto políticas como legislativas.

El enfoque adoptado en el Plan de Acción comunitario²⁵ y la estrategia correspondiente es alentar la ar-

²⁵ Resolución (92/C 158/02) del Consejo, de 15 de junio de 1992, relativa a la renovación del Plan de Acción Comunitario en materia de residuos radiactivos.

monización y la cooperación entre los Estados miembros para asegurar un nivel equivalente y aceptable de seguridad en toda la Unión Europea. El informe más reciente sobre la situación de la gestión de los residuos radiactivos en la UE publicó en 1999²⁶. Asimismo, la Comisión ha publicado recientemente un informe parecido sobre los países candidato²⁷.

La gestión de los residuos radiactivos ha sido y continúa siendo uno de los temas principales de los programas marco comunitarios de investigación sobre la fisión nuclear. Un aspecto clave en este sentido es el apoyo a las actividades de investigación en el ámbito de las instalaciones subterráneas de investigación existentes, que aportan datos fundamentales sobre el entorno geológico de acogida y permiten experimentar las técnicas de almacenamiento que podrían adoptarse para un almacenamiento definitivo. Las técnicas avanzadas para la separación química y nuclear y la minimización de residuos de vida larga (denominadas en general "técnicas de separación y transmutación") son, asimismo, campos importantes de investigación.

Las normas básicas de seguridad para la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes son el fundamento en que se asienta la armonización de los principios fundamentales de gestión de residuos y garantizan un nivel común e internacionalmente aprobado de protección radiológica en toda la Unión Europea. La revisión más reciente de estas normas básicas data de 1996²⁸, y su incorporación al derecho nacional está fijada en el 13 de mayo de 2000. Además, el capítulo III del Tratado Euratom establece un sistema comunitario de vigilancia y control de los traslados internacionales de residuos radiactivos²⁹. Finalmente, dentro del capítulo de medio ambiente del Tratado CE, la Directiva sobre la evaluación del impacto medioambiental y sus modificaciones son también de importancia considerable para el sector de los residuos radiactivos^{30, 31}.

Además, hay una serie de convenios internacionales que están llamados a desempeñar un papel fundamental en el establecimiento de prácticas y niveles de seguridad comunes en la escena internacional. Además, hay una serie de convenios internacionales que están llamados a desempeñar un papel fundamental en el establecimiento de prácticas y niveles de seguridad comunes en la escena internacional. El más importante es la "Convención conjunta internacional sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de residuos radiactivos"³², negociado bajo la égida del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y que entró en vigor el 18 de junio de 2001. La Comisión

ha presentado recientemente una propuesta de adhesión a esta convención por la Comunidad Europea y la Comunidad Europea de la Energía Atómica³³. Por otra parte, el OIEA prepara actualmente documentación sobre todos los aspectos de la gestión de residuos radiactivos, en la que se incluyen recomendaciones sobre la evacuación segura de todos los tipos de residuos radiactivos.

2. Hacia una solución segura

La Comisión considera que ha llegado el momento de tomar decisiones concretas en el campo de la gestión de residuos radiactivos, principalmente para fomentar el almacenamiento definitivo y el aumento de la investigación en este ámbito en general, lo que no impide que se busquen otras soluciones en función de los posibles desarrollos científicos posteriores.

2.1. Una opción en favor del almacenamiento definitivo

Aunque en la Unión Europea se han eliminado cantidades significativas (más de 2.000.000 m³) de los tipos de residuos radiactivos menos peligrosos, no todos los países tienen instalaciones de almacenamiento definitivo. Estos residuos, que suponen acumulaciones considerablemente mayores en volumen que las de los tipos más peligrosos, no plantean ningún desafío tecnológico importante en lo que se refiere a su eliminación pero exigen una supervisión estrecha mientras se mantienen en almacenamiento temporal.

En el caso de los residuos más peligrosos, existe un amplio consenso internacional en el sentido de que la opción de gestión más adecuada es el aislamiento a gran profundidad en formaciones geológicas estables. Mediante un sistema de múltiples barreras de contención y una cuidadosa elección de las formaciones rocosas en las que se alojan, estos residuos pueden aislarse durante períodos de tiempo enormemente largos, asegurando así que cualquier radioactividad residual se dé en concentraciones insignificantes. Esta estrategia de evacuación a gran profundidad reduce en gran medida el riesgo de intrusión humana accidental y es esencialmente pasiva y permanente, sin que se requiera ulterior intervención humana ni control institucional.

Sin embargo, preocupa el retraso que se está dando en una serie de Estados miembros a la hora de establecer y autorizar instalaciones adecuadas, especialmente en el caso de los almacenamientos geológicos profundos. Mientras tanto, continúan aumentando las cantidades de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos que se guardan en almacenamiento provisional o cerca de la superficie. Estas instalaciones de superficie exigen medidas activas, como la supervisión y el mantenimiento, para asegurar un alto nivel de seguridad y de protección del medio ambiente, lo cual representa una carga inaceptable que se lega a las futuras generaciones. Además, tras los acontecimientos del 11 de septiembre de 2001, la posible vulnerabilidad de estas instalaciones de superficie a atentados terroristas impone la necesidad de actuar con rapidez.

²⁶ "Comunicación y cuarto informe de la Comisión sobre la situación actual y las perspectivas de la gestión de residuos radiactivos en la Unión Europea", COM(98)799 de 11/01/1999.

²⁷ Informe de la Comisión EUR19154

²⁸ Directiva 96/29/EURATOM del Consejo de 13 de mayo de 1996

²⁹ Directiva 92/3/EURATOM del Consejo de 3 de febrero de 1992

³⁰ Directiva 85/337/CEE del Consejo de 27 de junio de 1985

³¹ Directiva 97/11/CEE del Consejo de 3 de marzo de 1997

³² Puede solicitarse el texto al OIEA - INFCIRC/546 (24 de diciembre de 1997)

³³ COM(2001) 520 final, 15 de octubre de 2001

Ya es hora de que los Estados miembros se comprometan por fin, tras años de dudas y dilaciones, debidas, sobre todo, a reticencias políticas, a aplicar un verdadero calendario para conseguir el almacenamiento de todos los residuos radiactivos. En particular, conviene que los Estados miembros de la Unión Europea aprueben programas nacionales de almacenamiento profundo de los residuos radiactivos de alta actividad y vida larga. Así, estarán obligados a tomar las decisiones necesarias para autorizar las instalaciones de almacenamiento y para explotar estas instalaciones antes de las fechas prescritas. Para ello, la Comisión propone que los Estados miembros se comprometan con un calendario preestablecido de los programas nacionales de almacenamiento de los residuos radiactivos, en general, y de los almacenamientos profundos de residuos de alta actividad, en particular. Deberán adoptar decisiones de autorización para la elección del emplazamiento de almacenamiento (nacional o regional), a más tardar en el año 2008 para los residuos de alta actividad y garantizar el funcionamiento del lugar a más tardar en el año 2018. Para los residuos de escasa actividad y vida corta, el almacenamiento deberá producirse a más tardar en el año 2013. La atención de la Comisión al cumplimiento del calendario por parte de los Estados miembros no será obstáculo para la aplicación de otras soluciones derivadas de posibles desarrollos científicos posteriores.

2.2. Aumentar la dotación de la investigación

Aunque el depósito geológico profundo asegura el aislamiento necesario de los residuos durante períodos muy largos, conviene que se continúe y se intensifique la investigación para optimizar la tecnología y los métodos de aplicación. Sin embargo, el almacenamiento profundo no debe llevar a una disminución de la intensidad de la investigación en otros campos de la gestión de residuos radiactivos, como el de las nuevas tecnologías de minimización de las cantidades de residuos, campos en los que podrían surgir nuevas soluciones en el futuro.

El Programa Marco Comunitario ha desempeñado y continuará desempeñando un papel destacado en el fomento de la investigación y el desarrollo en el campo de los residuos radiactivos. El Sexto Programa Marco de Investigación de Euratom para 2002-2006 ha asignado 90 millones a la investigación sobre residuos radiactivos. El CCI, por su parte, dedica una parte importante de sus recursos financieros a actividades en materia de investigación sobre los residuos. Varios Estados miembros tienen sus propios programas de investigación y desarrollo financiados bien con cargo a los presupuestos nacionales bien por el sector nuclear. Sin embargo, en la actualidad, la capacidad de estos programas para abordar todos los problemas pendientes no es suficiente.

De acuerdo con el principio de que "quien contamina paga", los operadores que generan residuos deberán contribuir más intensamente y de manera más visible al esfuerzo de investigación y desarrollo. Para ello, y para aumentar la cooperación entre estos programas y el intercambio de datos a escala comunitaria, la Comi-

sión tiene previsto proponer al Consejo, con posterioridad, la creación de una o varias empresas comunes a efectos de lo dispuesto en el capítulo 5 (Título II) del Tratado Euratom, encargadas de orientar los programas de investigación específica sobre la gestión de residuos. Dichas empresas comunes, fundadas a partir de un acuerdo voluntario con el sector y los Estados miembros, reunirán fondos del Centro Común de Investigación, los Estados miembros y las empresas.

CONCLUSIONES

Habida cuenta de las mejoras necesarias en materia de seguridad nuclear y del compromiso de la Unión de abrir la vía para un auténtico enfoque comunitario al respecto, la Comisión adopta proyectos de medidas coherentes y complementarias que remitirá al Consejo previo dictamen del grupo de expertos a que se refiere el artículo 31 del Tratado Euratom, con vistas a la adopción de:

- Una Directiva marco por la que se definan las obligaciones básicas y los principios generales en el ámbito de la seguridad de las instalaciones nucleares, durante su explotación o su desmantelamiento, en la Unión ampliada, con el fin de instituir, en definitiva, normas comunes de seguridad y mecanismos de control que garantizarán la aplicación métodos y criterios comunes en el conjunto de Europa ampliada. La Directiva prevé asimismo que podrá disponerse de recursos financieros adecuados para las necesidades de seguridad de las instalaciones nucleares, tanto durante su explotación como en su fase de desmantelamiento.
- Una Directiva sobre los residuos radiactivos que da preferencia al almacenamiento geológico de los residuos, ya que constituye la técnica más segura habida cuenta de los conocimientos actuales. La Directiva prevé que los Estados miembros de la Unión Europea adopten en función de un calendario preestablecido programas nacionales de almacenamiento de residuos radiactivos en general, y de almacenamientos profundos de residuos de alta actividad, en particular. Deberán adoptar decisiones de autorización para la elección de un emplazamiento de almacenamiento nacional o regional.

Además, la Comisión remite al Consejo un proyecto de Decisión del Consejo por la que se autoriza a la Comisión a negociar un acuerdo entre Euratom y la Federación Rusa sobre el comercio de los materiales nucleares. Este acuerdo se basará en las disposiciones pertinentes del Tratado Euratom y deberá tener en cuenta la realidad del mercado en la Unión ampliada y las relaciones específicas de los países candidatos con la Federación Rusa en este ámbito. Asimismo, deberá preservar tanto el interés de los consumidores europeos como la viabilidad de las industrias europeas y, especialmente, de las empresas dedicadas al enriquecimiento. El nuevo acuerdo establecerá un seguimiento periódico de todos los intercambios de materiales que se destinen a los productores de electricidad o a las empresas dedicadas al enriquecimiento. Esta comunicación será objeto de una Comunicación independiente.

 Mohamed ElBaradei*

La seguridad de las fuentes radiactivas

El pasado mes de marzo se celebró en Viena la Conferencia sobre la Seguridad de las Fuentes Radiactivas, organizada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). El artículo recoge la ponencia presentada por Mohamed ElBaradei, director general del OIEA, sobre este tema motivo

de preocupación pública y que concentra importantes esfuerzos de la comunidad internacional. Cuestiones como el problema de las fuentes huérfanas y el terrorismo radiológico, así como las actividades del OIEA en este campo son algunos de los aspectos abordados en la intervención de ElBaradei.

1. Visión general

Me complace darles la bienvenida a todos a esta conferencia sobre un tema que sigue generando grave preocupación pública: la seguridad de las fuentes radiactivas. En todo el mundo, las fuentes radiactivas se han utilizado durante décadas para beneficio de la humanidad: para diagnosticar y tratar enfermedades, para controlar pozos de petróleo y acuíferos de agua, para preservar los alimentos así como para numerosos otros usos. Millones de fuentes han sido distribuidas en el ámbito mundial durante los cincuenta últimos años, con centenares de miles actualmente en uso. La mayoría de estas fuentes, tales como las empleadas en detectores de humos, son débilmente radiactivas e individualmente representan poco riesgo radiológico. Sin embargo, se suministran cada año unas 12.000

fuentes de radiografía industrial y más de 10.000 unidades de radioterapia médica están en uso. Este tipo de fuentes -y otras tales como las contenidas en generadores termoeléctricos- son significativas desde un punto de vista de la seguridad y garantía de fuentes radiactivas, porque contienen cantidades potencialmente letales de material radiactivo.

Para proteger al público de los peligros de la radiación ionizante, el control denominado en la jerga del sector "evaluación desde la cuna a la tumba" (análisis del ciclo de vida) es esencial para estas fuentes radiactivas. Durante muchos años, el Organismo Internacional para la Energía Atómica (OIEA) ha estado ayudando a los Estados a reforzar sus infraestructuras reguladoras nacionales para asegurar que dichas fuentes radiactivas estén adecuadamente reguladas en todo momento. Hasta muy recientemente, nuestro énfasis ha estado sobre la seguridad de las fuentes radiacti-

vas, siendo la seguridad de la fuente considerada un aspecto de la garantía de seguridad medioambiental. Sin embargo, con ocasión de los ataques terroristas de septiembre de 2001 y la concienciación sobre la pura realidad del potencial de las fuentes radiactivas para uso en actos criminales, la seguridad de la fuente ha asumido una nueva urgencia. Pero mientras varios países están "subiendo peldaños" en la toma de medidas de seguridad pertinentes, muchos otros carecen de los recursos o de las estructuras nacionales para controlar eficazmente las fuentes radiactivas.

2. Fuentes 'huérfanas'

Un problema más amplio implica a las fuentes que, debido a pérdida, robo o abandono, han caído fuera del control regulador oficial: las llamadas fuentes "huérfanas". Este problema ha estado presente, sobre todo, en los Estados recientemente independientes, donde las transiciones en los gobiernos han lleva-

*M. ElBaradei es director general del Organismo Internacional para la Energía Atómica (OIEA).

do, en algunos casos, a una pérdida de la supervisión reguladora de las fuentes radiactivas.

En un gran número de casos, incluso sin mala intención, la pérdida de control de las fuentes radiactivas ha dado lugar a muertes o lesiones graves. El incidente bien conocido de Goiânia, Brasil, en los años ochenta, se cita frecuentemente como un ejemplo: un caso en el que el desmantelamiento inadvertido de una fuente de radioterapia y la dispersión de cesio-137, dio lugar a varios accidentes mortales y a una importante perturbación social y económica.

Numerosos factores pueden llevar a la pérdida de control de las fuentes radiactivas, entre otros las regulaciones ineficaces y la falta de supervisión reguladora, la falta de compromiso de gestión o formación de los trabajadores, un diseño deficiente de la fuente, una protección física deficiente de las fuentes durante el almacenamiento, transporte y uso, el abandono debido a factores económicos así como el robo u otros actos deliberados. En vista de esta amplia gama de posibles causas, resolver este problema es un reto difícil y complejo.

3. Terrorismo radiológico

Como acabo de mencionar, después de los acontecimientos de septiembre de 2001, las cuestiones relativas a las actividades terroristas —incluyendo el terrorismo nuclear y radiológico— fueron catapultadas para atraer la atención de la opinión pública. Dada la aparente facilidad de los terroristas para despreciar su propia seguridad, el peligro personal de manipular potentes fuentes radiactivas ya no puede considerarse como una fuente de disuasión efectiva. Esta concienciación exigió una nueva evaluación a fondo de los riesgos implicados. En vista de recientes informes sobre planes terroristas para construir y desplegar dispositivos de dispersión radiológica —y dada la inadecuación de los contro-

les de las fuentes que acabo de mencionar— resulta evidente que se necesita medidas de seguridad adicionales urgentemente. Esta preocupación ha sido el foco de atención de la comunidad internacional en los 18 últimos meses. Confío en que esta conferencia ayudará a identificar lo que se ha realizado y se concentrará en medidas adicionales que necesitan tomarse para hacer frente a este reto.

Evidentemente, el uso de un dispositivo de dispersión radiológica —a veces referido como “bomba sucia”— como cualquier explosión, podría matar o lesionar a las personas a través del estallido. No obstante, los más severos impactos de esta denominada bomba sucia probablemente serían el pánico y la perturbación social asociada con la exposición a la radiación, el propósito propiamente dicho de un acto de “terror”.

4. Actividades del OIEA

El OIEA y sus miembros han trabajado “duro” en elevar los niveles de seguridad contra la radiación y la seguridad asociada con las fuentes radiactivas, concentrándose en países con necesidades urgentes. Hace casi una década, el OIEA estableció las denominadas *Normas Internacionales de Seguridad Básica para Protección Contra Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación* y recientemente la agencia ha utilizado su *Proyecto Modelo sobre la Modernización de las Infraestructuras de Protección contra la Radiación* para ayudar a los Estados miembros a establecer la infraestructura para mejorar su control de fuentes radiactivas. Tanto las *Normas de Seguridad Básicas* como el *Proyecto Modelo* han incluido aspectos específicos relacionados con la seguridad de las fuentes, así como con la garantía de dichas fuentes radiactivas, si bien, en muchos países, estos requerimientos no han sido implantados, con el resultado de que el control regulador de las

fuentes radiactivas permanece débil y no se mantienen adecuadamente los inventarios de dichas fuentes por los Estados.

El OIEA ha desarrollado también un *Código de Conducta sobre Seguridad y Garantía de Fuentes Radiactivas*, una *Categorización de las Fuentes Radiactivas* y una *Base de Datos Internacional sobre Eventos de Radiación* (RADEV). Además ha patrocinado varias conferencias internacionales sobre la materia, que hicieron recomendaciones concretas para crear registros de fuentes nacionales, asegurar las fuentes huérfanas e impedir el uso criminal que implica a materiales nucleares y otro material radiactivo.

Pero el impacto más directo de las actividades del OIEA en este área ha estado en el trabajo real *in situ*; es decir, la asistencia a los Estados para satisfacer las necesidades urgentes o para proporcionar la formación, equipos y asesoramiento experto para elevar el nivel de rendimiento en el área de la seguridad de las fuentes, incluyendo a través del servicio de evaluación de la agencia la evaluación de la infraestructura reguladora de la seguridad contra la radiación de dichos Estados.

En varios casos, el OIEA ha prestado su experiencia en la localización y aseguramiento de las fuentes huérfanas. En Kabul (Afganistán), en el pasado año, la agencia ayudó a garantizar la seguridad de una potente fuente de cobalto abandonada. En Uganda, una semana después, ayudamos al Gobierno con una fuente que parecía haber sido robada para una reventa ilícita. Y un equipo georgiano, apoyado por el OIEA, recuperó satisfactoriamente dos potentes fuentes radiactivas que habían sido abandonadas sin protección ni seguridad alguna.

Existen en otros países problemas similares con fuentes huérfanas. Recientemente, se estableció una iniciativa tripartita por parte del OIEA, el Departamento de



► Figura 1. Mohamed ElBaradei, director general del OIEA.

Energía de Estados Unidos (DOE) y el Ministerio para la Energía Atómica de Rusia (MINATOM) —en un esfuerzo realizado por el secretario Abraham y el ministro Rumyantsev— para localizar, recuperar, asegurar y reciclar fuentes huérfanas a través de los países de la antigua Unión Soviética. Dos misiones conjuntas fueron realizadas en Moldavia y Tajikistan en el pasado año y están previstas más misiones para este mismo año. Sin embargo, ninguna disposición similar está todavía disponible para ayudar a países fuera de la antigua Unión Soviética.

Otra área donde concentra su actividad el OIEA está en el tráfico ilícito y el posible uso malintencionado de las fuentes. Nuestra *Base de Datos sobre Tráfico Ilícito* incluye más de 280 incidentes confirmados desde 1993 que implican a fuentes radiactivas. El número real de casos puede ser bastante mayor que el número informado a la agencia. Los funcionarios de aduanas, los vigilantes fronterizos

y las fuerzas de policía siguen detectando numerosos intentos de realizar contrabando y vender fuentes robadas.

El OIEA ha estado prestando asistencia activa a los Estados para reforzar sus controles fronterizos contra el tráfico ilícito y para mejorar su protección física de las fuentes radiactivas. Recientes ejemplos incluyen los seminarios sobre control fronterizo y tráfico ilícito, celebrados en Vladivostok y San Petersburgo, dirigidos a funcionarios aduaneros y encargados de la ejecución de la ley procedentes de los Estados recientemente independientes; un taller de trabajo sobre control fronterizo para funcionarios encargados de la ejecución de la ley en Filipinas; una reunión en Ghana para planificar la asistencia a los Estados africanos sobre la gama completa de cuestiones de seguridad nuclear y misiones de asesoramiento relacionadas con incidentes en Bolivia, Nigeria y Tanzania sobre cuestiones relacionadas con el tráfico ilícito.

Con vistas al futuro resulta evidente que queda todavía mucho por hacer para mejorar la seguridad de las fuentes radiactivas a nivel mundial. El OIEA seguirá comprometido activamente en prestar asistencia a los Estados en la búsqueda, recuperación y aseguramiento de las fuentes huérfanas y en mejorar sus propias medidas nacionales para el control de las fuentes radiactivas.

5. Sobre la conferencia del OIEA

Antes del cierre, me gustaría expresar mi agradecimiento al liderazgo mostrado por el secretario de Energía de Estados Unidos, Spencer Abraham, al continuar resaltando la urgencia de abordar la seguridad de las fuentes radiactivas a escala mundial. Fue precisamente el secretario Abraham, durante la sesión de septiembre de 2002 de la Conferencia General del OIEA, quien sugirió la necesidad de nuestra conferencia actual.

La agencia expresa su agradecimiento al Gobierno de Austria por ser anfitrión de esta conferencia, a los gobiernos de la Confederación Rusa y los Estados Unidos de América por patrocinar la conferencia y por la cooperación de la Comisión Europea, la Oficina Europea de Policía, la Organización Internacional de Policía Criminal y la Organización Mundial de Aduanas. El control de las fuentes radiactivas es una de varias áreas de expansión de actividad de la agencia y esta última necesita un amplio soporte de todos sus Estados miembros, incluyendo el soporte financiero, para asegurar que abordamos con eficacia este inminente peligro. Naturalmente, el éxito de esta conferencia será medido por nuestro éxito en acordar e implantar las medidas necesarias para protegernos contra cualquier uso malintencionado de las fuentes radiactivas. Les deseo todo el éxito en sus discusiones. ☺

Grandes figuras de la ciencia nuclear y radiactiva

Clifford G. Shull y Bertram N. Brockhouse

En el año 1994 el Premio Nobel de Física se dividió entre dos investigadores cuya característica compartida, aparte del esfuerzo en el trabajo y el genio, es la humildad y la discreción. Tal vez por esto, la institución sueca reparó en sus méritos cuarenta años después

de la realización de los trabajos que les valieron el prestigioso galardón. Se trata de Clifford G. Shull y Bertram N. Brockhouse, que recibieron sus premios respectivamente por el desarrollo "de la técnica de difracción de neutrones" y "la espectroscopia de neutrones".

A pesar del retraso en la concesión del Nobel a estos dos investigadores, el discurso de presentación de los premios durante la correspondiente gala reconocía, en una frase muy simple, un concepto menos simple y de gran importancia: "Clifford G. Shull ha ayudado a comprender la cuestión de dónde están los átomos, y Bertram N. Brockhouse ha aclarado la pregunta de qué hacen los átomos".

Clifford G. Shull

Clifford G. Shull nació el 23 de septiembre de 1915 en Pittsburg, Pennsylvania. Sus primeros años de vida transcurrieron con la normalidad general existente en Estados Unidos en el periodo entre la Primera Guerra Mundial y la crisis de 1929, hasta que en la escuela tuvo su primer contacto con la física, algo que marcaría el resto de su existencia. Su interés lo despertó Paul Dysart, profesor de Schenley High School, quien se deleitaba con los experimentos en el laboratorio de física y en las explicaciones sobre los principios que los sustentan.

Tras pasar por la Universidad de Nueva York y participar en diferentes proyectos de investigación, consiguió su primer trabajo en el laboratorio de investigación de la Texas Company, donde le fue encomendada la caracterización física de petróleo y diversos lubricantes.

De singular importancia para la comunidad científica de aquellos años fue el Proyecto Manhattan, en el que Shull fue invitado a participar, oferta que rechazó por imposición de la Texas Company.

Durante esta época incrementó sus conocimientos sobre los procesos de difracción, la cristalografía y el nuevo campo de la física en el estado sólido. Al mismo tiempo, y a través de las primeras reuniones de la Sociedad Americana de Rayos X, conoció a personajes como Warren, Buerger, Fankuchen, Zachariasen, Donnay y otros.

Su interés en diferentes campos de estudio le llevó a financiarse un viaje al laboratorio Clinton, más conocido como laboratorio nacional de Oak Ridge, en Tennessee, donde conoció a Ernest Wollan, quien le convenció para que traba-

jasen juntos en el estudio sobre cómo los patrones de los neutrones podrían complementar los obtenidos con rayos X o con electrones.

Bertram N. Brockhouse

Bertram N. Brockhouse nació en Alberta, Canadá, en 1918. Sus primeros años de vida transcurrieron entre Canadá y Estados Unidos, a pesar de lo cual recibió una buena formación, algo desordenada. Su primo mayor, Wil Smith le introdujo en el mundo del funcionamiento de las radios, lo que despertó su primer interés por la física, además de proporcionarle algunos ingresos trabajando como mecánico de radios en diferentes etapas de su vida, gracias a los cuales financió sus estudios elementales.

Durante la Segunda Guerra Mundial, sirvió en la Armada canadiense, donde recibió diferentes cursos de física relacionados con el funcionamiento de la radio. Y al licenciarse, el Departamento de Veteranos le proporcionó una indemnización que permitió su ingreso en la Universidad de British Columbia.

Al terminar la carrera comenzó su tesis, que constituyó una contribución a la física del estado sólido, que incluía experimentos a diversas temperaturas. Tras recibir una extensa formación, entre la que destaca el curso de Energía Nuclear impartido por su amigo Melvin Preston, surgió la oportunidad de trabajar en Chalk River, donde conoció a Don Hurst, en cuyo grupo se desarrollaría su trabajo. El mayor avance durante aquellos años consistió en darse cuenta de que los fonones (cuantos de excitación vibratoria en un cristal o en un líquido) podrían ser conocidos mediante estudios de dispersión inelástica, que eran susceptibles de ser llevados a cabo en Chalk River.

Sus primeros trabajos fueron sobre la espectroscopia junto a Donald Hughes, Harry Pavensky y Leon van Hove. En 1956 fue posible la construcción del primer espectrómetro de cristal de triple eje, lo que le permitió comenzar sus intervenciones públicas en Canadá, Estados Unidos y Europa, en las que conoció a innumerables personalidades con las que trabajaría en el desarrollo de sus teorías.

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, los investigadores estadounidenses tuvieron acceso a los grandes flujos neutrónicos que incluso aquellos reactores nucleares relativamente modestos eran capaces de generar. Los neutrones habían sido concebidos como bloques definidos en el núcleo atómico durante más de una década (premio Nobel de Chadwick, en 1935, por su descubrimiento). Fermi demostró, en 1942, que los neutrones de la fisión del núcleo de uranio podrían producir una reacción en cadena controlada. Poco después hizo un importante descubrimiento, que consistía en la demostración de la tendencia mucho mayor a reaccionar de los neutrones lentos frente a los rápidos, lo cual le valió el Nobel, compartido, de 1938. Son las especiales propie-



► Figura 1. Clifford G. Shull.



► Figura 2. Bertram N. Brockhouse.

dades de estos neutrones lentos las que los hacen idóneos para mostrar la posición y movimientos de los átomos. Incluso antes de la entrada de los reactores nucleares en el campo de la investigación, los resultados de usar fuentes neutrónicas simples habían indicado que los haces de neutrones se podrían utilizar para estudiar cuerpos sólidos y líquidos. Sin embargo, había muchas dificultades que superar antes de que estas posibilidades pudieran ser observadas.

En el reactor nuclear de Oak Ridge, en EEUU, Wollan formó un grupo de trabajo para examinar las posibilidades de desarrollar haces neutrónicos y los aparatos para determinar estructuras. Clifford Shull estuvo ligado a este grupo y pronto se convirtió en una parte importante. Se hacían esfuerzos similares en otros lugares,

pero era el grupo Wollan-Shull, y más tarde Shull en colaboración con otros investigadores, los que procedieron con mayor rapidez y alcanzaron resultados en un tiempo sorprendente. Los estudios de Shull sobre cristales simples supusieron la base para la interpretación de estructuras muy complicadas analizadas por cristalógrafos de neutrones modernos.

Mientras que Shull desarrollaba la técnica de dispersión de neutrones basada en la difracción de neutrones elásticamente dispersados, Brockhouse, en el reactor de investigación de Chalk River, en Canadá, se concentraba principalmente en la dispersión inelástica. Él diseñó el espectrómetro de triple eje y desarrolló la metodología para estudiar el espectro de energía de los neutrones una vez que hubieran sido dispersados. Esto requería un conocimiento profundo de las características de los neutrones y de un gran ingenio. Solamente con las contribuciones de Brockhouse, la dispersión inelástica del neutrón se convirtió en una herramienta útil en la física de la materia condensada. Los neutrones demostraron otra vez tener características únicas de la dispersión, en este caso porque su energía es del mismo orden de magnitud que la de los fonones en la materia sólida y fluida. Durante su trabajo pionero, entre 1955 y 1960, Brockhouse no utilizó ningún paralelismo con espectroscopia del neutrón. Esto permitió a la técnica convertirse en una fuente única que revolucionó nuestra capacidad de conocer la dinámica atómica, como por ejemplo, las vibraciones atómicas en cristales, movimientos de difusión en líquidos y fluctuaciones en material magnético. Tal información está contribuyendo activamente a la aclaración de las fuerzas que unen los átomos unos a otros en cuerpos sólidos y que determinan, por ejemplo, la transición del estado sólido al líquido. ☪

Actualidad

- Centrales nucleares ● Otros acuerdos del Pleno del CSN ● Actuaciones en emergencias ●
- Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento ● Instalaciones radiactivas ●

▶ CENTRALES NUCLEARES

Información correspondiente al periodo del 1 de diciembre de 2002 al 20 de marzo de 2003.

José Cabrera

La central ha estado operando a potencia de manera estable durante todo este periodo.

El Consejo, en su reunión del 11 de diciembre, aprobó las instrucciones técnicas complementarias sobre los límites y condiciones de la renovación de la autorización de explotación de la central —de las que se informó al Congreso de los Diputados y al Senado—, relacionadas con documentos de explotación, modificaciones del diseño, informes anuales que se presentan al CSN y plan de mejora específico de la planta.

En su reunión del 8 de enero, el Consejo informó favorablemente la revisión 44 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, y estableció una instrucción técnica complementaria sobre la planificación de las paradas de recarga, para dar cumplimiento a la resolución octava de la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso del día 9 de octubre de 2002.

El 26 de febrero, el Consejo apreció favorablemente la instrucción técnica complementaria 14.3 de la autorización de explotación, referida al programa de mejoras de la cultura de seguridad de la central, con la condición de que el titular remitiera al CSN un calendario con la incorporación de nuevo personal con licencia de operación.

El 15 de marzo la central declaró alerta de emergencia por la existencia de una amenaza de bomba realizada a primera hora de la mañana en la Comandancia de la Guardia Civil de Guadalajara. La central se mantuvo en prealerta de emergencia mientras realizaba las comprobaciones oportunas. Al cabo de una hora y media, al terminar las rondas de vigilancia y verificar que se trataba de una falsa alarma, la central volvió a declarar modo normal de operación.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado siete inspecciones a la central durante este periodo.

Santa María de Garoña

La central ha operado durante estos meses a potencia de manera estable, con las excepciones que se reseñan a continuación.



Central nuclear Santa María de Garoña.

En su reunión del 8 de enero, el Consejo estableció una Instrucción Técnica Complementaria sobre la planificación de las paradas de recarga, para dar cumplimiento a la resolución octava de la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso del día 9 de octubre de 2002.

El 12 de enero, estando a plena potencia, el titular descubrió que una válvula del sistema de inyección de agua al núcleo de alta presión había fallado, cerrándose por un problema mecánico, por lo que, de acuerdo con lo requerido por las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, tuvo que parar la central y reparar la válvula.

El 16 de enero, cuando la planta acababa de alcanzar plena potencia, tras la parada ocasionada por el suceso anterior, hubo un fallo en la regulación del turboalternador, que provocó su parada y consecuentemente la parada automática del reactor.

El Consejo, en su reunión del día 5 de febrero de 2003, informó favorablemente el Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y propuso establecer una nueva condición a la Autorización de Explotación que permita que el titular modifique el Plan en ciertas condiciones y en otras requiera la apreciación favorable del Consejo.

En su reunión del día 12 de febrero de 2003, el Consejo informó favorablemente la revisión número 48 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y revisión I de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento Mejoradas.

El Consejo, en la reunión del 19 de febrero, informó favorablemente la modificación de diseño M.D. 377 de sustitución de la instrumentación analógica del

OTROS ACUERDOS DEL PLENO DEL CSN

Guía de seguridad sobre transporte de materiales radiactivos

El Consejo, en su reunión del 18 de diciembre de 2002, acordó la aprobación y publicación de la Guía de Seguridad GS-6.2 *Programa de Protección Radiológica aplicable al transporte de materiales radiactivos*.

Red Iberoamericana de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica

En su reunión del 8 de enero, el Consejo acordó iniciar los trámites para la creación de la Red Iberoamericana de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, la cual dispondría para España de un servidor de gestión.

Instrucciones técnicas complementarias

a las centrales nucleares

La resolución octava de la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso de los Diputados, de fecha 9 de octubre de 2002, insta al CSN a que emita, en el plazo de tres meses, una instrucción sobre la planificación de las paradas de recarga a todas las centrales nucleares españolas. En consecuencia, en su reunión del 8 de enero, el Consejo acordó establecer instrucciones técnicas complementarias sobre la planificación de las paradas de recarga a las centrales nucleares de Trillo, Almaraz, Cofrentes, Vandellós II, Santa María de Garoña, José Cabrera y Ascó.

Protocolo de colaboración para la vigilancia de materiales metálicos

En la misma reunión, el Consejo acordó la modificación del Protocolo de Colaboración sobre la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos, firma-

do con fecha 2 de noviembre de 1999, de forma que las sucesivas modificaciones del mismo puedan ser llevadas a cabo sin necesidad de que éstas tengan que ser firmadas por las autoridades que en su día suscribieron el citado protocolo.

Convenio con la Fundación de la Universidad Complutense de Madrid

El Consejo, en su reunión del 22 de enero, acordó el inicio de los trámites para la firma de un Convenio de Colaboración con la Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid, para la realización de los siguientes cursos: *El futuro de la seguridad nuclear en Europa e ITER: El camino hacia la energía de fusión*.

Transferencia, archivo y custodia de los documentos de protección radiológica

En su reunión del 5 de febrero, el Consejo aprobó la instrucción IS-4, por la que se regula la transferencia, archivo y custodia de los documentos correspondientes a la protección radiológica de los trabajadores, público y medio ambiente, de manera previa a la transferencia de titularidad de las prácticas de las centrales nucleares que se efectúen con objeto de su desmantelamiento y clausura.

La protección frente al radón en edificios de nueva construcción

En la misma reunión, el Consejo informó favorablemente el texto a incluir en el Código Técnico de la Edificación (CTE) referente a la protección frente al gas radón en el interior de edificios de nueva construcción, que ha sido desarro-

llado por un grupo de trabajo compuesto por representantes del Ministerio de Fomento, el Instituto Eduardo Torroja y el CSN. Contiene el procedimiento de verificación y los protocolos de medida de la concentración de radón, tanto en terreno como en el interior de los edificios. Además, en sus anexos se encuentran los mapas nacional y provinciales de potencial presencia de radón, soluciones para la prevención y tratamiento de puntos conflictivos.

Desclasificación de aceites usados

El Consejo, en su reunión del 12 de febrero, acordó apreciar favorablemente el Proyecto Común para la desclasificación de aceites usados con muy baja actividad, procedentes de las centrales nucleares, para su regeneración, según lo establecido en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, que había sido solicitado por Unesa. El residuo objeto del proyecto es el aceite usado con bajos niveles de actividad que se origina en diversos sistemas y componentes de los reactores del tipo PWR y BWR. Según Unesa, en la actualidad existe un inventario de aceite susceptible de desclasificación en las centrales nucleares españolas cifrado entre 50 y 90 m³, y la tasa de generación anual entre todas las plantas es de entre 12 y 25 m³.

El proceso realizado en el CSN para la evaluación de este proyecto se ha centrado en el análisis del impacto radiológico asociado y en el establecimiento de los requisitos técnicos y administrativos y de los niveles de desclasificación que deben aplicarse para la gestión de estos aceites.

(continúa en la página siguiente)

OTROS ACUERDOS DEL PLENO DEL CSN (continuación)

(viene de la página anterior)

Convenio para el proyecto Halden

En la misma reunión, el Consejo acordó que se inicien los trámites para la firma de un Convenio Nacional CSN/Ciemat/Enusa/Tecnomat, para el desarrollo de la participación española en el proyecto Halden/OCDE. El objeto del mismo es organizar la participación de entidades nacionales en dicho proyecto, de modo que los trabajos y resultados de estos experimentos sean de utilidad y aplicación para cada una de las entidades participantes, en cada uno de sus ámbitos de actuación (materiales, combustible nuclear y factores humanos).

Guía sobre chatarras

El Consejo acordó, en su reunión del 19 de febrero, aprobar la Guía de Seguridad del CSN GS-10.12 *Control radiológico de actividades de recuperación y reciclado de chatarras*, de la que se realizará una publicación.

Dosimetría de los trabajadores profesionalmente expuestos

En su reunión del 26 de febrero, el Consejo aprobó la publicación del informe *La dosimetría de los trabajadores profesionalmente expuestos en España durante el año 2001. Estudios sectoriales*. El informe presenta, de forma ordenada y

elaborada, toda la información dosimétrica de los trabajadores expuestos a las radiaciones en España, correspondientes al año 2001, habiéndose utilizado los datos contenidos en el Banco Dosimétrico Nacional.

Proyectos de I+D

El Consejo acordó, en dicha reunión, el inicio de los trámites para la firma de tres proyectos de investigación. El primero consiste en la participación, mediante acuerdo con la Universidad de Cantabria, en el proyecto *Exposición de los trabajadores debido a las fuentes naturales de radiación en algunas industrias españolas*, cuyo objeto es determinar las dosis que estarían recibiendo los trabajadores de distintos tipos de industrias en las que se procesan o almacenan materiales con radionucleidos naturales y de lugares donde pudiera existir una exposición al radón y/o a la radiación gamma. El segundo, también en colaboración con dicha universidad, consiste en participar en el proyecto *Evaluación de niveles de radón en edificios en zonas de diferentes tasas de exposición a la radiación gamma*, que pretende verificar experimentalmente la capacidad del proyecto Marna como herramienta para identificar genéricamente en el país zonas de distinto riesgo desde el punto de vista de la concentra-

ción de radón en el interior de edificios. El tercero, en colaboración con la Universidad Autónoma de Barcelona, prevé la participación en el proyecto *Estudio del riesgo asociado a la inhalación de descendientes del radón en diferentes actividades laborales y en viviendas*, con el objetivo de estimar la dosis media anual que estarían recibiendo los trabajadores en distintos lugares subterráneos de trabajo en los que podría existir una exposición al ^{222}Rn y a sus descendientes, así como la estimación de las dosis medias anuales a los habitantes de un grupo de viviendas seleccionadas dentro de la región.

Central térmica del ciclo combinado en Vandellòs

El Consejo acordó, en su reunión del 5 de marzo, remitir un escrito a la Delegación Territorial de la Generalidad de Cataluña en Tarragona, en contestación a la solicitud de información sobre la tramitación del expediente para la autorización administrativa de una central térmica de ciclo combinado de 800 MW, solicitada por Gas Natural SDG, en las inmediaciones de la central nuclear de Vandellòs II, en Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant. Copia de este escrito será remitido a los ministerios de Economía y Medio Ambiente, respectivamente.

sistema de vigilancia de flujo neutrónico en rango de potencia por otra digital, así como la revisión número 49 de las Especificaciones de Funcionamiento y revisión II de las Especificaciones de Funcionamiento Mejoradas y la revisión 24 del Estudio de Seguridad asociadas a dicha modificación.

El 3 de marzo la central paró para realizar su parada de recarga. Entre los principales trabajos programados se encuentran la terminación del nuevo sistema

de habitabilidad de sala de control, del sistema de agua fría esencial y la sustitución del sistema de vigilancia neutrónica por otro más moderno.

El Consejo, en su reunión del día 5 de marzo de 2003, informó favorablemente la revisión número 50 de las Especificaciones de Funcionamiento y revisión III de las Especificaciones Técnicas Mejoradas.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado 11 inspecciones a la central durante este periodo.

Almaraz



Central nuclear de Almaraz.

Las dos unidades han funcionado durante estos meses sin incidencias, salvo dos paradas automáticas no programadas de la unidad II los días 29 de enero y 1 de marzo.

La primera parada se debió a una señal espuria en un canal de rango de potencia que produjo la parada automática del reactor por señal de alta velocidad de variación positiva de flujo neutrónico.

La segunda parada se debió a la actuación accidental de un relé de protección eléctrica del transformador principal. La actuación de la protección produjo el disparo de turbina y la parada automática del reactor.

Durante este periodo se han aprobado las revisiones número 66 (unidad I) y 61 (unidad II) de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y el Plan de Gestión de Residuos, y se han emitido Instrucciones Técnicas Complementarias sobre la planificación de las paradas de recarga.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado cuatro inspecciones a la central durante este periodo.

Ascó

Las dos unidades de la central han estado operando a potencia de manera estable durante todo este periodo, excepto el 19 de diciembre en que se produjo una parada automática en la unidad II, a causa del fallo de una tarjeta electrónica del control de agua de alimentación a los generadores de vapor.

En su reunión del 8 de enero, el Consejo estableció una Instrucción Técnica Complementaria sobre la planificación de las paradas de recarga, para dar cumplimiento a la resolución octava de la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso del día 9 de octubre de 2002.

El Consejo, en su reunión del 5 de febrero de 2003, informó favorablemente el Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y propuso establecer una nueva condición a la Autorización de Explotación que permita que el titular modifique el Plan en ciertas

condiciones, y en otras requiera la apreciación favorable del Consejo.

En su reunión del 5 de marzo de 2003, el Consejo autorizó una exención al cumplimiento de la Especificación Técnica de Funcionamiento 4.6.1.2, por la cual se autoriza a la unidad I a que aplacc la prueba integrada de fugas de la contención hasta octubre de 2004.

El 7 de marzo la unidad I inició su parada de recarga. Como actividades más importantes asociadas a la misma se pueden solicitar las necesarias para aumentar la potencia en el 1,4%, la perforación de agujeros en el interno superior para permitir mejor refrigeración de la cabeza de la vasija y el cambio de tapa de la vasija por una nueva.

El Consejo, en su reunión del 20 de marzo, apreció favorablemente el aumento de potencia del 1,4% para la unidad I, el cambio de tapa de la vasija y otras modificaciones a implantar durante la recarga de dicha Unidad, así como la revisión 68 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y otras modificaciones de documentos oficiales asociados a estas modificaciones. También se apreció favorablemente la revisión 68 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la unidad II.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado diez inspecciones a la central durante este periodo.

Cofrentes



Vista aérea de la central nuclear de Cofrentes.

La central funcionó durante estos meses sin incidencias destacables.

Durante este periodo se han aprobado la revisión número 42 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y la revisión 3 del Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y de Combustible Gastado, y se han emitido Instrucciones Técnicas Complementarias sobre la planificación de las paradas de recarga.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado seis inspecciones a la central durante este periodo.

ACTUACIONES EN EMERGENCIAS

Planes de emergencia

El CSN y la Dirección General de Protección Civil han elaborado la versión final de los títulos I y II del Plan Básico de Emergencia Nuclear y el borrador completo de los títulos III y IV.

Activaciones de la Salem

La organización de respuesta ante emergencias del CSN se ha activado parcialmente en las ocasiones que se recogen a continuación.

El 7 de diciembre de 2003 el Servicio de Seguridad Marítima informó a la Salem del avistamiento, frente a la costa asturiana, de un contenedor que podría ser de clase nuclear. La Salem se mantuvo en contacto con la Torre de Salvamento Marítimo de Gijón hasta comprobar que se trataba de una cisterna para el transporte de gases criogénicos y que no era de clase nuclear. Adicionalmente y a petición de las autoridades marítimas, el CSN

envió al puerto de Gijón a dos técnicos de su organización de respuesta ante situaciones de emergencia para que estuviesen presentes durante la operación de recuperación de la cisterna.

El 22 de enero de 2003, como consecuencia de la declaración de un incendio en una fábrica de plásticos en la provincia de Valencia, se produjo la pérdida de hermeticidad y la destrucción de una fuente radiactiva gaseosa de criptón 85, con 200 milicurios de actividad, sin consecuencias radiológicas para los trabajadores de la fábrica ni para la población.

El día 15 de marzo de 2003, se activó el plan de emergencia interior de la central nuclear de José Cabrera, como consecuencia de una comunicación de la Guardia Civil, que había recibido una amenaza de bomba en la central que resultó ser falsa. El CSN siguió el incidente desde su sala de emergencias, estableciendo las comu-

nicaciones pertinentes con la central nuclear, la subdelegación del Gobierno en Valencia y la Dirección General de Protección Civil, monitorizando la situación hasta la finalización de las oportunas comprobaciones, que confirmaron la falta de veracidad en la amenaza.

Sucesos notificables

Durante este periodo, la Salem recibió un total de seis sucesos notificables al CSN en el plazo de una hora y 10 sucesos notificables al CSN en el plazo de 24 horas, referentes todos ellos a la explotación de centrales nucleares.

La Salem ha recibido la notificación de un total de siete incidentes radiológicos registrados en instalaciones y prácticas radiactivas y la notificación de un incidente relacionado con el transporte de material radiactivo, consistente en la parada de un vehículo de transporte por avería durante su itinerario.

Vandellós II

La central ha operado estos meses de forma estable a potencia.

Durante el mes de febrero se ha terminado la construcción y puesto en servicio del simulador de entrenamiento para personal de operación, situado en el término municipal de Vandellós.

El Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 11 de diciembre, informó favorablemente la revisión 44 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

En su reunión del día 8 de enero, el Consejo estableció una Instrucción Técnica Complementaria sobre la planificación de las paradas de recarga, para dar cumplimiento a la resolución octava de la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso del día 9 de octubre de 2002.

El Consejo, en su reunión del 5 de febrero de 2003, informó favorablemente el Plan de Gestión de Residuos Radiactivos y propuso establecer una nueva condición a la Autorización de Explotación, que permita que el titular modifique el Plan en ciertas



Central nuclear Vandellós II.

condiciones y en otras requiera la apreciación favorable del Consejo.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado seis inspecciones a la central durante este periodo.

Simulacros

El día 27 de marzo tuvo lugar el preceptivo simulacro anual de emergencia del centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad de Enresa en El Cabril (Córdoba). El escenario supuso un incendio forestal con propagación a la zona intermedia entre las plataformas de almacenamiento, con afección parcial de las estructuras de almacenamiento de contenedores de residuos procedentes de la factoría de Acecinox y el daño a un total de tres contenedores. El simulacro se dio por finalizado una vez que se comprobó la ausencia de daños radiológicos al personal de la instalación y a la población y se estableció, por parte del titular, un plan de recuperación de material y reparación de estructuras.

Protección física

El Consejo de Seguridad Nuclear dio su visto bueno al Plan de Actuación para la Mejora de la Segu-

ridad Física de Instalaciones, Actividades y Materiales Nucleares y Radiactivos, que está siendo llevado a la práctica por el CSN en colaboración con el Ministerio de Economía, la Secretaría de Estado de Seguridad, el Consejo de Seguridad Nuclear y los titulares de las instalaciones. Como parte de dicho plan se han desarrollado las actividades que se reseñan a continuación.

— La adaptación, por parte de las centrales nucleares, de sus planes y sistemas de protección física al modelo integrado de seguridad de las mismas aprobado por el Consejo el día 19 de junio de 2002.

— La puesta en marcha, en colaboración con las Dirección General de la Guardia Civil y la Dirección General de la Policía, de un programa de inspección para comprobar las acciones adoptadas por parte de cada central para adaptar su sistema de protección física al modelo integrado.

— La constitución de la Comisión de Seguimiento y los Grupos de Trabajo (Normativo, Operativo y de Información), previstos en el plan de actuación.

— La elaboración de un modelo estándar de Plan de Protección Física para las centrales nucleares.

— La revisión de los planes de seguridad física de cada central para adaptarlos al plan estándar establecido.

Por último, los días 25, 26 y 27 de marzo de 2003 se impartió un curso de formación dirigido a mandos de la Guardia Civil y del Cuerpo Nacional de Policía adscritos a las provincias en las que se ubican las instalaciones nucleares o a unidades centrales que tienen asignada alguna función en materia de protección física de las instalaciones, actividades y materiales nucleares y radiactivos, con el objeto de familiarizarles con este tipo de actividades y su implantación en España.

Trillo

La central funcionó durante estos meses sin incidencias destacables.

Durante este periodo se han aprobado la revisión número 13 de las Especificaciones de Funcionamiento y el Plan de Gestión de Residuos, y se han emitido Instrucciones Técnicas Complementarias sobre la planificación de las paradas de recarga.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado cuatro inspecciones a la central durante este periodo.

▶ INSTALACIONES DEL CICLO Y EN DESMANTELAMIENTO

Centro de almacenamiento de residuos de El Cabril

En la segunda quincena de diciembre Enresa informó al CSN sobre la reanudación del programa de retirada y transporte de residuos radiactivos al centro de almacenamiento de El Cabril, al quedar expeditos los accesos de entrada a la misma que se encontraban bloqueados



Plataforma de almacenamiento del centro de El Cabril.

desde el mes de octubre, a causa de las acciones de grupos de personas a la entrada de la instalación.

Durante este periodo, el CSN realizó cuatro inspecciones a la instalación en relación con las barreras

de ingeniería, los sistemas, las estructuras y los componentes con incidencia en la seguridad y protección radiológica a largo plazo, el programa de vigilancia radiológica ambiental y la vigilancia de la red de control de infiltraciones.

► INSTALACIONES RADIATIVAS

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas

En las reuniones celebradas el 31 de noviembre de 2002 y el 28 de febrero de 2003, el CSN adoptó las siguientes resoluciones relativas a instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales y actividades conexas: 16 informes para autorizaciones de funcionamiento de nuevas instalaciones; 61 informes para autorizaciones de modificación de instalaciones previamente autorizadas y 11 informes para declaración de clausura; 6 informes para la autorización de retirada de material radiactivo; 7 informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico; 4 informes de autorización de servicios y unidades técnicas de protección radiológica; 2 informes relativos a aprobación de tipo de aparatos radiactivos; y 3 homologaciones de cursos de formación para la obtención de licencias o acreditaciones de personal.

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas

En el periodo comprendido entre el 31 de noviembre de 2002 y el 28 de febrero de 2003 el CSN ha remitido 10 apercibimientos a instalaciones radiactivas, de ellos 8 se han dirigido a instalaciones industriales, 1 a una instalación médica y 1 a una instalación de investigación y docencia.

Asimismo, el CSN ha propuesto la apertura de expediente sancionador a una instalación radiactiva industrial.

Instrucción sobre valores de exención para radionucleidos

El CSN aprobó, en su reunión del 26 de febrero, una instrucción por la que se amplían las tablas A y B del anexo I del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, Real Decreto 1836/1999 (IS-05), en las que se establecen los valores de actividad y actividad por unidad de masa de los diferentes radionucleidos, por debajo de los cuales las instalaciones que los utilicen no tendrán la consideración de instalación radiactiva.

La instrucción desarrolla el apartado 2.a) del anexo I del reglamento, aumentando significativamente el número de radionucleidos incluidos. Como base para su elaboración se ha adoptado la publicación NRPB-N306 del National Radiological Protection Board del Reino Unido.

Informes anuales de las empresas de venta y asistencia de equipos de rayos X de uso médico



Equipo radiológico de cardiología digital.

El CSN ha remitido instrucciones técnicas complementarias a las autorizaciones de las empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X de radiodiagnóstico médico, sobre el contenido de los informes anuales de actividades que estas entidades deben remitir al CSN en cumplimiento de la correspondiente especificación incluida en el condicionado de las autorizaciones.

El objetivo de las instrucciones es la actualización y homogeneización del contenido del informe anual que, debido a la aparición de nueva reglamentación, presentaba diferencias significativas entre las autorizaciones de las distintas empresas.

Circular sobre incidentes en equipos móviles de gammagrafía industrial

El CSN ha enviado una circular informativa a todas las instalaciones de gammagrafía industrial autorizadas que utilizan equipos móviles de una marca y modelo específico, con el que se han producido diversos incidentes en los que no ha sido posible la retracción de la fuente al interior de su contenedor de blindaje al finalizar la exposición, debido a la desconexión entre el portafuentes y el cable del telemando.

La circular incluye recomendaciones operativas que se deben aplicar para evitar que se produzcan este tipo de sucesos.

Instalaciones de radioterapia con aceleradores lineales de electrones

En su reunión del 12 de febrero, el Consejo aprobó la propuesta de actuación en el licenciamiento de instalaciones radiactivas de radioterapia con aceleradores lineales de electrones, que incluye la remisión de un circular a los posibles titulares, comunicando la necesidad de solicitar la autorización de funcionamiento lo antes posible, con el objeto de evitar retrasos innecesarios y tratando de que la misma reúna las condiciones necesarias para su pronta evaluación.

Noticias breves

● Consejo de Seguridad Nuclear ● Sector ●

▶ CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Jornada anual sobre vigilancia radiológica ambiental del CSN

El 29 de abril tuvo lugar en la sede del CSN la Jornada de Vigilancia Radiológica Ambiental, a la que asistieron representantes de los laboratorios de medidas de baja actividad y de otras entidades relacionadas con dicha vigilancia. Durante su transcurso se presentaron los resultados de la intercomparación analítica realizada durante el año 2002, dentro del programa periódico que el CSN tiene establecido para tratar de garantizar la homogeneidad y fiabilidad de los resultados de las medidas realizadas en estos laboratorios.

En esta campaña se ha contado, como es habitual, con la colaboración técnica del Ciemat, y han participado 32 laboratorios, entre ellos uno portugués y otro cubano. Durante la misma se ha utilizado como muestra común un material de referencia de fauna marina piscícola con niveles ambientales de radiactividad, suministrada por el Marine Environmental Laboratory del OIEA. En las bases técnicas del estudio se solicitaba la realización de tres determinaciones independientes de los siguientes radionucleidos: U-238, U-235, U-234, K-40, Pb-210, Ra-226, Sr-90, Cs-137, y opcionalmente resultados de Pu(239+240), Am-241 y Tc-99.

Nombramientos en el CSN



Juan Carlos Lentijo.

El Consejo, en su reunión de 27 de noviembre, acordó nombrar a Juan Carlos Lentijo director general de Protección Radiológica Ambiental. Juan Carlos Lentijo es ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Madrid. Inició su actividad profesional en Empresarios Agrupados, ingresando en 1984 en el CSN

como funcionario de carrera del Cuerpo Técnico de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica. En el Consejo ha ocupado, entre otros cargos, los de inspector residente en la central nuclear de Cofrentes y jefe del Grupo Radiológico del Plan Provincial de Emergencia Nuclear de Valencia. En el momento de su nombramiento ocupaba la Subdirección General de Protección Radiológica Ambiental, puesto en el que será sustituido, de manera provisional, por Lucila Ramos Salvador, funcionaria de la Escala Superior del Cuerpo Técnico de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica.

Primer informe nacional sobre combustible gastado y residuos radiactivos

En la reunión del 26 de febrero, el Consejo aprobó el texto del Primer Informe Nacional de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre la Seguridad de la Gestión de Residuos Radiactivos del OIEA, redactado conjuntamente por el CSN, el Ministerio de Economía, Enresa y el sector eléctrico. Tras su edición y traducción, de lo que se encargará el Ministerio de Economía, se entregará el 5 de mayo en la sede del OIEA, tras lo cual estará disponible para el público a través de la página web del CSN y de la del OIEA. El informe se defenderá en la reunión de revisión de las partes que tendrá lugar entre el 3 y el 14 de noviembre próximos.

Curso sobre el reactor ITER y la fusión nuclear

De acuerdo con lo establecido en el acuerdo de colaboración suscrito entre el CSN y la Fundación General de la Universidad Complutense, entre los días 24 y 26 de marzo se celebró el curso *ITER: el camino a la energía de fusión*, que se desarrolló en horario de mañana y tarde. El curso, inaugurado por María-Teresa Estevan Bolea, presidenta del CSN, y clausurado por José Ángel Azuara Solís, vicepresidente del CSN, contó con la asistencia de 85 alumnos, entre ellos estudiantes de últimos cursos de licenciaturas relacionadas, posgraduados y técnicos del CSN.

El programa constaba de diez conferencias, impartidas por especialistas en la materia, que abordaron los aspectos científicos, técnicos, socioeconómicos, empresariales y universitarios del tema, además de una visita al TJII del Ciemat y una mesa redonda, en la

que se debatió la viabilidad de la fusión nuclear para la producción de energía eléctrica y el panorama energético a largo plazo.

Por parte del CSN, Antonio Gea impartió la conferencia *Procesos de autorización de instalaciones. Aplicabilidad al ITER*, lo que permitió a los asistentes conocer las competencias y actividades del Consejo y los condicionantes que, desde el punto de vista de la seguridad nuclear y la protección radiológica, deberá cumplir esta instalación.

Segundo foro de la NEA sobre protección radiológica

La isla canaria de Lanzarote acogió, entre los días 2 y 4 de abril, el Segundo Foro sobre la Política Futura de Protección Radiológica, organizado por la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OCDE, en colaboración con la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Asistieron a la reunión 97 especialistas de 20 países, entre los que se encontraban la consejera de la NRC, Greer Joy Dicus, el director general de la NEA, Luis Echávarri, el presidente del ICRP, Roger Clarke, y el director del Instituto de Protección Radiológica de Suecia, Lars-Erik Holm.



Asistentes al foro desarrollado en Lanzarote.

La reunión se centró en el debate sobre las implicaciones que, para reguladores, operadores, trabajadores y público en general, tendrán las nuevas ideas de la ICRP, que reemplazarán al sistema actual de protección radiológica derivado de la publicación ICRP-60 y posteriores. El nuevo sistema supondrá, además de una consolidación y simplificación de principios y criterios, una evolución del enfoque tradicional antropocéntrico hacia un sistema integrado de protección del hombre y del medio ambiente, incluyendo una filosofía más coherente para el tratamiento de la radiación natural, así como una política explícita de protección del medio ambiente.

La reunión fue inaugurada por María Teresa Estevan Bolea, presidenta del CSN, y clausurada por José

Ángel Azuara Solís, vicepresidente, interviniendo también la consejera Paloma Sendín, como miembro del comité organizador y moderadora de una de las mesas. Estos foros se enmarcan en un proceso de diálogo abierto auspiciado por el Comité de Protección Radiológica y Sanidad Pública de la NEA (CRPPH), al objeto de incorporar la opinión de la sociedad en el proceso de toma de decisiones relacionadas con las próximas recomendaciones de la ICRP, previstas para el año 2005.

Reunión de WENRA en París

Los días 13 y 14 de marzo se celebró en París la reunión de la Asociación de Reguladores Nucleares Europeos (WENRA), en la que participaron ya como miembros de pleno derecho, además de sus miembros tradicionales (Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Gran Bretaña, Holanda, Italia y Suecia), los reguladores de los países candidatos a la ampliación de la UE con centrales nucleares (Bulgaria, Eslovaquia, Eslovenia, Hungría, Lituania, República Checa y Rumanía), por lo que se procedió a redactar una nueva acta constitutiva. Durante la reunión, presidida por el representante francés, André-Claude Lacoste, se analizaron las actividades de los dos grupos de trabajo existentes (Armonización de Normas de Seguridad Nuclear para Reactores y Armonización de Normas para la Gestión de los Residuos Radiactivos) y los nuevos miembros nombraron a sus delegados para participar activamente en los dos grupos de trabajo a partir de la próxima reunión. Entre otras cosas, se acordó hacer público el informe del programa piloto del grupo de trabajo de Armonización de Normas de Seguridad Nuclear para Reactores, que el CSN ha incluido ya en su página de Internet. También se nombró a Judith Melin como nueva presidenta de la asociación.

Reunión de INRA en Ottawa

La Asociación Internacional de Reguladores Nucleares (INRA), a la que pertenecen Alemania, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Japón y Suecia, se reunió en la ciudad canadiense de Ottawa los días 24 y 25 de marzo, con la ausencia, debido a la delicada situación internacional del momento del representante estadounidense.

Durante el encuentro se discutieron las prácticas nacionales para mantener una buena cultura de la seguridad en las instalaciones nucleares y radiactivas. Cada representante realizó una presentación sobre un caso concreto de su país, dando paso a un debate general. Se destacó la dificultad para cuantificar este concepto y la importancia de dar un buen ejemplo, por parte del regulador, realizando un trabajo donde se persiga en todo momento la seguridad de las instalaciones licenciadas.

La discusión puso en evidencia que, a pesar de partir de los mismos principios y alcanzar resultados se-

mejantes, las prácticas para la inspección de instalaciones nucleares son distintas en cada país, como las derivadas de la existencia o no de inspectores residentes, resaltándose la conveniencia de realizar inspecciones no anunciadas.

Finalmente se debatió la importancia de conseguir la confianza de la población, destacándose que para conseguirla un organismo regulador debe desarrollar su trabajo con rigor científico, independencia y transparencia.

Visita al organismo regulador argentino



Julio Barceló (centro), durante su visita a Argentina.

El pasado mes de febrero, Julio Barceló, consejero del Consejo de Seguridad Nuclear, realizó una visita a la Autoridad Regulatoria Nuclear, el organismo regulador argentino, invitado por su presidenta Diana Klein. En el transcurso de la visita se repasaron las relaciones bilaterales, especialmente las posibilidades de colaboración en proyectos de I+D de interés común y en el intercambio de técnicos de ambos organismos. Durante su estancia en Argentina, Julio Barceló visitó la central nuclear de Embalse, el centro de investigaciones de Ezeiza y la fábrica de elementos combustibles de Conure.

Renovado el acuerdo con el Instituto Sueco de Radioprotección

El pasado 15 de enero se procedió a la renovación del acuerdo de colaboración suscrito el 17 de noviembre de 1997 entre el Instituto Sueco de Radioprotección y el Consejo de Seguridad Nuclear. El intercambio de información entre ambas entidades en materias de protección y seguridad radiológica de trabajadores, público y medio ambiente, durante estos años, ha permitido un aprovechamiento mutuo. Por parte del Consejo, firmó la renovación su presidenta, María Teresa Estevan Bolea, y por parte del Instituto Sueco de Radioprotección, su director general, Lars-Eric Holm.

Nuevos convenios con instituciones y universidades

El pasado mes de noviembre, el Consejo de Seguridad Nuclear firmó un convenio de colaboración con la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y la Sociedad Española de Física Médica (SEFM), para facilitar la formación en radiaciones ionizantes y protección radiológica a aquellos médicos y profesionales sanitarios que, sin utilizarlas directamente, participan en la prescripción de su uso, en el análisis de sus resultados o en otras actividades relacionadas. Se trata también de divulgar y desarrollar los temas técnicos y científicos que la protección radiológica necesita en las actividades que los profesionales requieran como especialistas sanitarios y mejorar la adecuada protección radiológica de los profesionales, del público y de los pacientes.

En el mes de diciembre, el CSN firmó otro convenio de colaboración con la Asociación Española de Radioterapia y Oncología (AERO), sobre información y formación relacionadas con el uso terapéutico de las radiaciones ionizantes en oncología.

Además, en octubre de 2002, el Consejo firmó un acuerdo marco de colaboración con la Universitat Politècnica de Catalunya, para profundizar en las relaciones científicas y técnicas, en actividades de formación, I+D y transferencia de tecnología. El objetivo es contrarrestar la situación actual de escasa demanda de las disciplinas relacionadas con la seguridad nuclear en las universidades españolas, y la pérdida de personal cualificado que están sufriendo las empresas explotadoras de las centrales nucleares. Se trata de una cuestión relevante, dado el reconocimiento internacional de la importancia de los factores humanos en la gestión de la seguridad, compartida por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Jornada sobre radiación y genes

Organizada por la Fundación Genes y Gentes, y patrocinada por el CSN, se celebró en Zaragoza el 5 de abril pasado, una jornada denominada *Radiación y*



Un momento de la jornada *Radiación y nuestros genes*.

nuestros genes, con el objetivo de dar a conocer los usos de los isótopos radiactivos y de las radiaciones ionizantes en el campo de la biomedicina, con especial énfasis en los riesgos radiológicos, tanto genéticos como somáticos y tanto en los tejidos como en las células, y en las medidas de protección que se utilizan para proteger a los usuarios, enfermos y público en general, de los efectos nocivos de dichas radiaciones.

En la jornada participaron seis expertos, moderados por Dolores Serrat, decana de la Facultad de Medicina de la Universidad de Zaragoza, en la primera parte, y por Fernando Solsona, catedrático de dicha universidad, en la segunda, actuando como coordinador de toda la jornada Agustín Alonso Santos, catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

Las ponencias de la jornada, dirigidas a un público general pero interesado en estas cuestiones, serán objeto de una publicación, y un resumen de cada una de ellas se incluirá en la página *web* de la fundación (www.fundaciongenesygentes.es), junto con los debates que suscitaron.

Bodas de plata en la Administración



Los homenajeados, acompañados de María-Teresa Estevan, presidenta del CSN, y otros consejeros.

El día 19 de diciembre de 2002 se celebró en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear un acto conmemorativo en homenaje a los trabajadores del organismo que cumplieron 25 años de servicios en la Administración durante el pasado año: María José Álvarez, Rafael Cid, Isabel Mellado y Toñi Rubio.

SECTOR

Nils J. Díaz, nuevo presidente de la comisión reguladora estadounidense

El presidente de Estados Unidos, George Bush, designó el pasado 30 de marzo a Nils J. Díaz presidente de la Nuclear Regulatory Commission (NRC), en sustitución de Richard A. Meserve. Díaz es profesor



Nils J. Díaz, nuevo presidente de la NRC.

emérito de Ingeniería Nuclear de la Universidad de Florida y ha sido, entre otros cargos, director del Innovative Nuclear Space Power Institute y presidente de Florida Nuclear Associates. Es miembro de la NRC desde 1996. En su cometido actual dirigirá las funciones reguladoras y de concesión de licencias y participará en la formulación de políticas y la elaboración de normas, reglamentos y guías sobre seguridad nuclear y protección radiológica.

Borrador de enmienda a la Convención sobre Protección Física de Materiales Nucleares

La sede del OIEA en Viena acogió, entre los días 3 y 14 de marzo, la reunión final de expertos encargados de preparar el proyecto de enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, que entró en vigor en 1987 y que han suscrito 84 Estados, habiendo sido ratificada por 45 de ellos.

El mandato del director general al grupo fue hacer un borrador de enmienda incidiendo en la reforma de varios conceptos con el objeto de ampliar la convención a la protección de las instalaciones nucleares y a todo aquello que pudiera ser objeto de ataques terroristas, así como de conseguir un texto suficientemente flexible como para animar a los Estados a adherirse a él y a introducir las modificaciones necesarias en sus legislaciones nacionales con la idea de lograr un nivel aceptable de seguridad, según las recomendaciones del documento INFCIRC/225/Rev. 4, sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y los principios fundamentales adoptados por la Junta de Gobernadores (GOV/2001/41).

Entre los puntos más novedosos de la propuesta de enmienda destacan la inclusión en el ámbito de aplicación de la convención del uso, almacenaje y transporte en el territorio de un Estado, la cobertura de las instalaciones nucleares dentro de la calificación de los delitos, así como la tipificación de otros nuevos, entre ellos el sabotaje, los movimientos de material nuclear sin autorización y cualquier tipo de participación que facilite la comisión de los tipos pe-

nales, todo ello conformado por un listado de principios fundamentales que incluyen la cultura de seguridad, la defensa en profundidad y la responsabilidad de los titulares, entre otros. Como asuntos transversales incorporados a lo largo del articulado están la responsabilidad nacional en cuanto a la protección física, la protección de la información confidencial, la cooperación y asistencia entre los estados parte, el derecho humanitario internacional y la posibilidad de incluir el medio ambiente como bien jurídicamente protegible.

La finalización de los trabajos del grupo inicia el envío de la propuesta de enmienda a los estados parte de la convención para, con el acuerdo de una mayoría simple, convocar una conferencia diplomática que se pronuncie sobre la incorporación de las modificaciones al texto.

Córdoba acogió el Congreso Internacional sobre Avances en Plantas de Energía Nuclear

El Palacio de Congresos y Exposiciones de Córdoba acogió, entre el 3 y el 7 de mayo, el ICCAP'03 (International Congress on Advances in Nuclear Power Plants), organizado por la Sociedad Nuclear Española, y las de Estados Unidos, Japón, Corea y Francia.

El programa aborda todos aquellos aspectos relacionados con las plantas nucleares, como el despliegue de investigaciones en la construcción de centrales y el desarrollo de futuros diseños en sistemas avanzados. Además, se pondrán en práctica algunas de las lecciones aprendidas durante últimos 50 años en aspectos como la seguridad, el mantenimiento, las estructuras, los materiales y las especificaciones técnicas.

Para más información consultar la página *web* de la Sociedad Nuclear Española: www.sne.es.

Corea del Norte vuelve a poner en marcha un reactor nuclear precintado

El pasado mes de febrero, Corea del Norte reactivó la planta de energía atómica de Yongbyon, situada a unos 100 kilómetros al norte de la capital norcoreana. Este reactor fue el desencadenante de la crisis de 1994, en la que Estados Unidos denunció que en la planta se fabricaban armas de plutonio.

La puesta en marcha del reactor, detectada por satélites estadounidenses que observaron la pluma de humo emitida por la planta, implica que han sido removidos los sellos de los reactores que habían sido expedidos por las Naciones Unidas.

Yongbyon tiene 8.000 barras de plutonio susceptibles de ser recicladas. No obstante, según la información de los servicios de inteligencia estadounidenses, sólo se puso en marcha el reactor y no la totalidad de las instalaciones de la planta, que tienen la capacidad de reciclar combustible nuclear.

Seminario sobre información pública en caso de emergencia radiológica

Entre el 2 y el 5 de febrero de 2003 se celebró en Malta el Seminario Internacional de Comunicadores Nucleares, Pime 2003, en cuyo transcurso el Consejo de Seguridad Nuclear presentó su estrategia para el cumplimiento de la Directiva Europea 89/618/Euratom sobre información a la población sobre las medidas de protección sanitarias y del comportamiento a seguir en caso de emergencia radiológica, transpuesta a la legislación española por decisión del Consejo de Ministros del 1 de octubre de 1999.

Durante la reunión se puso de manifiesto que la difusión de información nuclear ha recobrado la normalidad tras las restricciones provocadas por el atentado terrorista del 11 de septiembre de 2001. Los participantes convinieron, también, que Internet y las presentaciones multimedia han demostrado ser una herramienta rápida y eficaz para transmitir información nuclear y radiológica a la población. Por último, y entre otras conclusiones, se destacó que la información a la población, en caso de emergencia, es una obligación de los países miembros de la Unión Europea, aceptada también por otros países, ya que "saber qué hacer en caso de accidente radiológico es otra barrera más contra los efectos negativos de las radiaciones ionizantes".

El CSN participó en la Junta de Gobernadores del OIEA

El Consejo de Seguridad Nuclear participó junto con el Ministerio de Economía y Hacienda en la Junta de Gobernadores del OIEA, que se celebró en Viena, del 17 al 19 de marzo, y que revisó las actividades del organismo durante 2002.

El embajador Antonio Núñez García-Saúco, presidente de la delegación española y representante ante la Junta, pidió al OIEA que diese la máxima prioridad al desarrollo de un conjunto de estándares de seguridad de alta calidad técnica, que sirvan de referencia internacional. También se refirió a las conclusiones de la Convención de Seguridad Nuclear, indicando su preocupación por el mantenimiento de la competencia profesional, pidiéndole al OIEA que explore fórmulas que permitan mantener el conocimiento y la capacidad del sector nuclear en temas de seguridad. En lo que se refiere a la seguridad de los residuos radiactivos, el embajador español señaló la falta de coherencia con los estándares del OIEA de algunas posiciones de la Convención de Oslo y París (OSPAR), en especial la exigencia de descarga nula a las instalaciones nucleares. Finalmente, felicitó al OIEA por la excelente tarea que está realizando en el desarrollo de infraestructura en seguridad radiológica en los países en vías de desarrollo y brindó el apoyo español "para desarrollar una red de conocimiento en seguridad nuclear, radiológica y de residuos en Latinoamérica".

Resúmenes

(Page 2)

Advanced reactor material research requirements

Charles A. Greene, Joseph Muscara, Makuteswara Srinivasan

The metal and graphite components used in high temperature gas-cooled reactors (HTGR) may suffer physical-chemical alterations, irradiation damage and mechanical alterations. Their failure may call the security of these reactors into question by affecting the integrity of the pressure control system, core geometry or its cooling, among other aspects. This article analyses the work currently being done in the matter by the US Nuclear Regulatory Commission.

(Page 5)

Radio-pharmaceuticals for human use: the legal framework and the clinical indications authorised in Spain

A. Cortés-Blanco, J. Esteban Gómez

The inclusion of radio-pharmaceuticals in the health legislation represented a significant change because of the obligation, for the first time, to undergo a registration process to enable them to be marketed. It also served to regulate clinical investigation using these drugs, and the prior evaluation they must undergo in order to obtain official health clearance.

(Page 16)

Fermi and nuclear security

Vicente Alcober Bosch

Following the scientific life of Fermi, the article reviews the historical evolu-

tion of nuclear security, from the base of the first system foreseen for the CP-1 critical pile, which made it possible to demonstrate self-sustaining fission reaction, until the mid-fifties by which time the subsequent importance of this concept was perceived. Technological advances have gone hand in hand with the development of the concept of security, and have become a further point to be taken into account in any nuclear installation, and which Fermi always kept in mind during his professional life.

(Page 28)

Nuclear security in the European Union context

At the end of 2002, the European Commission tabled a proposal for the definition of a genuinely Community approach to nuclear security and to advance toward sustainable solutions for the management of radioactive waste, all within the commitments taken on in the monitoring of the Green Paper *Towards a European strategy of energy storage security*. In this sense, the Commission has worked on a collection of measures with a view to adopting a framework directive on security in nuclear installations, another on radioactive waste and a Council Decision authorising the Commission to negotiate an agreement between Euratom and the Russian Federation on trade in nuclear materials: all are at

the commentary stage. The Commission's Communication to the Council and European Parliament, whose full text is presented, argues the fundamental reasons for the adoption of these measures.

(Page 43)

The security of radioactive sources

Mohamed ElBaradei

Last March, the Conference on the Security of Radioactive Sources was held in Vienna, organised by the International Atomic Energy Agency (IAEA). The article includes the paper presented by Mohamed ElBaradei, the IAEA Director-General, on this matter of public concern, and which is focussing major efforts by the international community. Matters like the problem of orphan sources and radiological terrorism, and the IAEA's activities in these fields, are some of the aspects dealt with in Mr. ElBaradei's intervention.

(Page 46)

Clifford G. Shull and Bertram N. Brockhouse

In 1994, the Nobel Prize for Physics was shared by two researchers whose common characteristic, apart from the drive to work and their genius, is modesty and discretion. That may have been why the Swedish institution took forty years to appreciate the work which brought the prestigious award to them. Clifford G. Shull and Bertram N. Brockhouse, who received their respective awards for development of "neutron diffraction technique" and "neutron spectroscopy".

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.

La información facilitada por usted formará parte de un fichero informático con el objeto de constituir automáticamente el Fichero de destinatarios de publicaciones institucionales del Consejo de Seguridad Nuclear. El responsable del tratamiento del fichero es el secretario general de este ente público. Usted tiene derecho a acceder a sus datos personales, así como a su rectificación, corrección y/o cancelación. La cesión de datos, en su caso, se ajustará a los supuestos previstos en las disposiciones legales y reglamentarias en vigor.

Ámbito 1

La radiación natural

- Historia
- Átomos y radiaciones
- Introducción a la ciencia. Deducir sin ver
- Un mundo de radiaciones
- Radiación natural
- Medir la radiación. Medir la radiactividad
- Bañados en radiaciones



Ámbito 2

La radiación artificial

- Energía de fisión: centrales nucleares
- Ciclo del combustible. La metaformosis del uranio
- Industria: aplicaciones de los radioisótopos en la industria
- Medicina. Radiaciones ionizantes
- Otros usos



Ámbito 3

Riesgos y servidumbres

- Noción de riesgo. ¿Vivimos peligrosamente?
- La radiactividad y los seres vivos
- Riesgos y servidumbres de la gestión nuclear
- ¿Qué hacer con la basura radiactiva?
- Riesgos potenciales. Aprender de la gestión
- Escala de radiación artificial



Ámbito 4

El Consejo de Seguridad Nuclear

- ¿Qué es el CSN?
- Comunicación pública
- El CSN por dentro
- Criterios de seguridad
- Actuaciones
- Protección radiológica. Evitar las radiaciones
- Vigilancia ambiental
- Planes de emergencia
- I+D



El centro de información del CSN pretende, a través de 29 módulos interactivos distribuidos en cuatro ámbitos, acercar a los jóvenes al conocimiento de las radiaciones y sus usos, y explicar los mecanismos establecidos para controlar sus riesgos.

