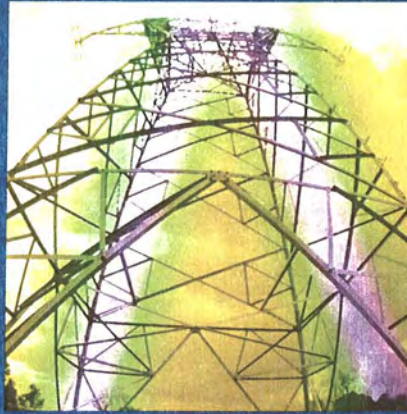


Revista del CSN / Número 30  
I Trimestre 2004

# Seguridad Nuclear



**Formación en Protección  
Radiológica en el medio sanitario**

**Simuladores de centrales nucleares  
en España (1978-2003)**

**Situación actual  
de los procedimientos  
y la tecnología en Radioterapia**

**La Constitución Europea**

**James Chadwick. Descubrimiento  
del neutrón**

**Seguridad Nuclear**

Revista del CSN

Año VIII / Número 30

I Trimestre 2004

**Directora**

María-Teresa Estevan Bolea

**Comité de redacción**

José Ángel Azuara Solís

Julio Barceló Vernet

Carmen Martínez Ten

Antonio Morales Plaza

Ana Villuendas Adé

**Consejo de****Seguridad Nuclear**

Justo Dorado, 11

28040 Madrid

Tel.: 91 346 04 25

Fax: 91 346 05 58

www.csn.es

**Coordinación editorial**

Senda Editorial, S.A.

Isla de Saipán, 47

28035 Madrid

Tel.: 91 373 47 50

Fax: 91 316 91 77

**Impresión**

Grafistaff, S.L.

Avenida del Jarama, 24

Polígono Industrial

de Coslada

28820 Coslada (Madrid)

Tels.: 91 673 77 14

91 673 77 97

Fax: 91 669 11 37

ISSN: 1136-7806

D. Legal: M-31281-1996

**Portada:** Torre (José Ribera  
Moreno)

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

**Editorial****Artículos técnicos**

Formación en protección radiológica en el medio sanitario

Manuel Alonso, Francisco Carrera, J. Carlos Mateos y J. Jose Peña.

Simuladores de centrales nucleares en España (1978 - 2003)

Enrique Ugedo Gudín

Situación actual de los procedimientos y la tecnología en Radioterapia

Pedro Fernández Letón y Alfonso López Fernández

La Constitución Europea

Antonio Morales Plaza

**Artículos divulgativos**

Paradas de recarga de centrales nucleares en España durante el año 2003

Foro permanente de protección radiológica en el medio hospitalario

**Grandes figuras de la ciencia nuclear y radiactiva**

James Chadwick. Premio Nobel de Física 1935. Descubrimiento del neutrón

**Actualidad**

Centrales nucleares / Acuerdos del Consejo / Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento / Actuaciones en emergencias / Instalaciones radiactivas / Protección radiológica y medio ambiente /

**Noticias breves****Resúmenes**

# Editorial

Las exigencias del mundo actual, con mejoras tecnológicas continuas, que imponen trabajar de forma integrada y cada vez más multi, inter y transdisciplinar, con una globalización real y otras necesidades que evolucionan rápidamente, obligan a llevar a cabo una intensa tarea y un esfuerzo personal de formación continua, con el fin de estar al día -en nuestro caso- en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

La formación general y específica en materia de protección radiológica es reconocida como una herramienta básica para la optimización de las exposiciones médicas.

Para el CSN siempre ha sido muy importante el Plan de formación y no se han regateado esfuerzos de ningún tipo a fin de que el personal dispusiera de cursos, seminarios, reuniones, jornadas, congresos y otras actividades, llevadas a cabo en España o en otros países para conseguir esta “puesta al día” de nuestros técnicos, en sus conocimientos.

Asimismo, hemos realizado y estamos realizando grandes esfuerzos en la capacitación del nuevo personal que va incorporándose a la plantilla del CSN. Durante los últimos seis años se han incorporado al CSN varios técnicos: en el año 1999, ocho técnicos por promoción interna; en 2000, cuatro técnicos también por promoción interna; en 2001, se convocaron y cubrieron cinco plazas por libre oposición y una plaza de promoción interna. En 2002 se convocaron cuatro plazas, siete en 2003 y en 2004 se han convocado oposiciones para cubrir 18 plazas. Con el fin de ayudar a los interesados en acceder, por oposición, al Cuerpo Técnico del Consejo de Seguridad Nuclear, por primera vez, el CSN ha publicado en su web el texto de los temas correspondientes a estas oposiciones. El año 2003 se encargó a los técnicos del CSN la redacción y puesta a punto del contenido de los 126 temas, que configuran el programa de estas oposiciones, lo que facilita notablemente concursar y prepararse adecuadamente.

Es cierto que determinadas capacidades se adquieren en el bachillerato y en la Universidad y, por tanto, se tienen o no se tienen, pero creemos que estos nuevos impulsos del CSN a la capacitación y formación continua redundarán en una mayor eficiencia del proceso regulador, que es lo que nos concierne.

En el ámbito de las instalaciones médicas, la Comisión Internacional de Protección Radiológica viene insistiendo en la necesidad de dedicar los recursos suficientes para la formación inicial y continuada de todos los profesionales sanitarios. Existe una amplia normativa que regula la formación en protección radiológica en la etapa pregrado y durante la actividad profesional, lo que comúnmente se denomina formación continuada. Esta formación está regulada por la autoridad sanitaria. Sin embargo, existe otra aproximación, desde el ámbito regulador, que persiguiendo el mismo objetivo, se plasma de una manera más concreta, en forma de acreditaciones o licencias, para poder desempeñar determinadas funciones en el puesto de trabajo. Los contenidos de los programas formativos figuran en Guías de Seguridad del Consejo de Seguridad Nuclear y, en el caso de rayos X, además, está regulada su homologación por una Resolución expresa de este Organismo.

Siguiendo prácticas cada vez más extendidas, se han puesto en marcha también cursos de teleenseñanza en protección radiológica y control de calidad, en diferentes universidades e instituciones sanitarias, a fin de facilitar la actualización de conocimientos del personal que trabaja en instalaciones médicas de radiodiagnóstico y radioterapia.

La formación continua es una tarea de extraordinaria importancia que requerirá cada vez más atención del CSN y otros organismos e instituciones.

Manuel Alonso, Francisco Carrera, Juan Carlos Mateos y Juan Jose Peña\*

# Formación en protección radiológica en el medio sanitario

La formación general y específica en materia de protección radiológica es una herramienta básica para la optimización de las exposiciones, que está regulada por diferentes

normativas. Este artículo analiza cuál es la situación española actual en lo que se refiere a la formación universitaria en materia de protección radiológica en el medio sanitario.

## 1. Introducción

La formación general y específica en materia de protección radiológica es reconocida como una herramienta básica para la optimización de las exposiciones médicas.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, en su publicación nº 73 [1], "Protección Radiológica y Seguridad en Medicina" declara, en su epígrafe 128, la necesidad de dedicar los recursos suficientes para la formación inicial y continuada de todos los profesionales sanitarios.

La Directiva del Consejo 97/43/EURATOM [2], de 30 de junio de 1997, conocida como MED (*Medical Exposure Directive*), sobre la protección de la salud de las personas frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en relación con las exposiciones médicas, establece los requisitos de formación para los profesionales sanitarios implicados en los actos médicos, que supongan exposición a la radiación de pacientes o de participantes en programas de cribado o de investigación.

En nuestro ordenamiento jurídico, el Real Decreto 1132/1990 [3], de 30 de septiembre, ya establecía, en su artículo 2, que los responsables de la utilización de las radiaciones ionizantes en un acto médico tendrán que haber adquirido, durante su formación universitaria o mediante estudios complementarios, los conocimientos adecuados sobre protección radiológica, y que el personal técnico, que colaborara en estos procedimientos, debería poseer los conocimientos adecuados sobre las técnicas aplicadas y las normas de protección radiológica.

Para dar cumplimiento a lo dictado por este real decreto, se publican también los Reales Decretos sobre criterios de calidad en radioterapia [4], medicina nuclear [5] y radiodiagnóstico [6]. Este último dedica el artículo 6 a la formación de los profesionales en materia de protección radiológica del paciente.

El Real Decreto 815/2001 [7], de 13 de julio, sobre la justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas, incorpora los aspectos de la MED, en aquellas materias no recogidas en los reales decretos anteriores, dedicando, en concreto, su artículo 11, a la formación en protección radiológica.

Los reales decretos mencionados versan sobre la formación en protección radiológica en la etapa pregrado, y durante la actividad profesional, lo que comúnmente se denomina *formación continuada*. Esta formación está regulada por la autoridad sanitaria. Sin embargo, existe otra aproximación, desde el ámbito regulador, que persiguiendo el mismo objetivo, se plasma de

\* M. Alonso es jefe del servicio de Radiofísica y Protección Radiológica del Hospital Universitario "Marqués de Valdecilla" de Santander.

F. Carrera es jefe del servicio de Radiofísica y Protección Radiológica del Área Hospitalaria "Juan Ramón Jiménez" de Huelva.

J.C. Mateos es profesor titular de la Facultad de Medicina de la Universidad Hispalense y radiofísico del servicio de Radiofísica y Protección Radiológica del Hospital "Virgen del Rocío" de Sevilla.

J.J. Peña es catedrático de Física Médica de la Universidad de Extremadura y jefe del servicio de Radiofísica y Protección Radiológica del Hospital Universitario "Infanta Cristina" de Badajoz.

una manera más concreta en forma de acreditaciones o licencias, para poder desempeñar determinadas funciones en el puesto de trabajo. Los requisitos de formación para su concesión se establecen en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas [8] y en el real decreto de instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico [9]. Los contenidos de los programas formativos figuran en guías de seguridad del Consejo de Seguridad Nuclear [10], y en el caso de rayos X, además, está regulada su homologación por una resolución [11] expresa de este organismo.

En el presente trabajo, pretendemos analizar la situación actual de la formación en protección radiológica en el medio sanitario en nuestro país, desde un triple enfoque:

- Formación de pregrado, que también denominaremos reglada, dentro de los programas docentes de las diferentes universidades o escuelas de formación profesional.
- Formación reglamentada, necesaria para la obtención de licencias y acreditaciones.
- Formación continuada, tanto de carácter específico para trabajadores expuestos, como de carácter divulgativo, destinada a prescriptores y a trabajadores no expuestos.

## 2. Formación reglada

El Real Decreto 815/2001 [7] establece la necesidad de impartir docencia en materia de protección radiológica (PR) en las enseñanzas de pregrado de las facultades de medicina y de odontología, escuelas universitarias de podología y en las escuelas de técnicos superiores en radioterapia y técnicos superiores en diagnóstico por la imagen. Con fecha de marzo de 2003, el Consejo General de Universidades determina la obligatoriedad de establecer cursos sobre PR en el área de las ciencias de la salud, incluyendo las escuelas universitarias de enfermería en el conjunto de instituciones académicas implicadas en esta materia.

El reciente documento de la EC, *Radiation Protection 116* [12], en relación a la formación de pregrado de las Facultades de Medicina y Odontología, establece el siguiente conjunto de recomendaciones:

a) De acuerdo con la Directiva sobre Exposiciones Médicas [2] (MED) de la UE, "Los estados miembros deberán facilitar la inclusión de cursos de PR en los *currícula* de las Facultades de Medicina y Odontología" (art. 51).

"La formación general y específica en materia de protección radiológica es reconocida como una herramienta básica para la optimización de las exposiciones médicas"

b) Los cursos deben incluir conocimientos básicos necesarios para el prescriptor, tales como la justificación y la optimización. Este entrenamiento debe ser independiente de la formación complementaria una vez que médicos y odontólogos sean especialistas y responsables de exposiciones médicas (art. 52).

c) Los contenidos y orientaciones de estos cursos deben ser diferentes para los estudiantes de Medicina y Odontología. En Medicina, son fundamentales los aspectos generales de la protección al paciente, tales como los efectos biológicos, la justificación de las exposiciones médicas, el análisis riesgo-beneficio, las dosis típicas por examen radiológico, etc. Asimismo, se comentarán las ventajas e inconvenientes del uso de las radiaciones ionizantes en Medicina y la gestión de residuos radiactivos. Los estudiantes de Medicina no necesitan información específica sobre el diseño y funcionamiento de las instalaciones de radiodiagnóstico, Medicina Nuclear o Radioterapia. Estos

conocimientos deberán formar parte de su programa de formación como residentes especialistas (art. 53).

d) En las Facultades de Odontología el caso es diferente. Aparte de los conceptos básicos mencionados para las Facultades de Medicina, el curso de PR debe incluir la formación específica sobre la seguridad radiológica de los equipos de rayos X, tales como los principios de operación del tubo, técnicas radiográficas, procesado de imagen, programas de garantía de calidad, control de dosis al paciente y al personal, etc. (art. 54).

e) Considerando que los aspectos básicos de la Física de Radiaciones forman parte de la formación preclínica (en asignaturas de Física Médica o equivalente), se recomienda que la parte general del curso de PR se concentre en los tópicos relacionados con la protección al paciente. Una propuesta de contenido podría ser la indicada en la ICRP 73 [1]:

1. Introducción.
2. Cuantificación de la dosis de radiación y riesgos asociados (incluyendo los efectos de la radiación).
3. El *framework* de la protección radiológica.
4. La justificación de la práctica.
5. La optimización de la PR.
6. Límites de dosis individuales.
7. Métodos prácticos de protección.
8. Guías de operación y niveles de referencia.
9. Accidentes y emergencias.
10. Disposiciones institucionales (art. 55).

f) Los seminarios y sesiones prácticas deberían incluir los siguientes temas:

1. Justificación de las exposiciones médicas de algunos procedimientos diagnósticos específicos (examen de alguna radiografía simple; consideración de alternativas con ultrasonidos o resonancia magnética, etc.).
2. Responsabilidad del médico u odontólogo ante las exposiciones médicas.

Tabla 1. Facultades de Medicina

| Universidad         | Nombre Asignatura                               | Tipo           | Créditos |
|---------------------|-------------------------------------------------|----------------|----------|
| ALCALÁ DE HENARES   | "Radiaciones Ionizantes"                        | Optativa       | 5        |
| CÁDIZ               | "Protección Radiológica"                        | Optativa       | 4.5      |
| CANTABRIA           | "Radioprotección"                               | Obligatoria    | 3        |
| COMPLUTENSE MADRID  | "Protección Radiológica"                        | Optativa       | 4.5      |
| LA LAGUNA           | "Protección Radiológica"                        | Optativa       | 3        |
| EXTREMADURA         | "Protección Radiológica"                        | Optativa       | 4.5      |
|                     | "Riesgos radiológicos en instalaciones médicas" | Libre Elección | 4.5      |
| SANTIAGO COMPOSTELA | "Protección Radiológica"                        | Optativa       | 4.5      |

Tabla 2. Facultades de Odontología

| Universidad        | Nombre Asignatura                        | Tipo             | Créditos |
|--------------------|------------------------------------------|------------------|----------|
| COMPLUTENSE MADRID | "Protección Radiológica"                 | Optativa         | 4.5      |
| GRANADA            | "Radiobiología y Protección Radiológica" | Optativa         | 4        |
| MURCIA             | "Protección Radiológica"                 | Troncal 4º curso | 2        |
| SEVILLA            | "Protección Radiológica"                 | Optativa         | 4        |

Tabla 3. Escuelas Universitarias de Podología

| Universidad | Nombre Asignatura                          | Tipo        | Créditos |
|-------------|--------------------------------------------|-------------|----------|
| A CORUÑA    | "Técnicas de radiología y radioprotección" | Troncal     | 4.5      |
| EXTREMADURA | "Radioprotección"                          | Obligatoria | 6        |
| ELCHE       | "Técnicas de radiología y radioprotección" | Troncal     | 4.5      |

3. Diferentes niveles de riesgos en función de la edad de los pacientes.

4. Diferentes niveles de dosis para diferentes tipos de procedimientos (radiografías de tórax, abdomen y columna, CT, pruebas de medicina nuclear, etc.).

5. Recomendaciones para pacientes embarazadas y lactantes que requieran pruebas radiológicas (con rayos X y radionúclidos).

6. Importancia de los niveles de referencia en los programas de optimización y en la estimación de riesgos.

7. Explicar cómo y por qué un hospital produce residuos radiactivos y su gestión segura.

8. Ejemplos prácticos de cómo informar a los pacientes (y acompañantes) del riesgo de las exposiciones médicas. Comparación con otros tipos de riesgos (art. 56).

g) Parte de este entrenamiento pudiera unirse con el entrenamiento básico en radiología durante el periodo clínico, según recomienda la Directiva 97/43/EURATOM [2]. La formación de especialistas radiólogos en PR es un objetivo de la enseñanza de postgrado (art. 57).

h) Un curso básico en PR debería incluirse en las escuelas de enfermería y pediatría (art. 58).

i) La duración de estos entrenamientos en PR debería ser de 20 a 40 horas, asumiendo un conocimiento previo de física de radiaciones. Un porcentaje del 20 al 30% del contenido debe estar integrado por seminarios o sesiones prácticas con el fin de analizar casos presentados en la práctica clínica (art. 59). Este entrenamiento en PR debería impartirse al final del periodo preclínico o durante el periodo clínico (art. 60).

Actualmente y dentro del ámbito universitario, se imparten asignaturas de protección radiológica en las diferentes instituciones académicas que se muestran en las tablas 1, 2 y 3, con indicación del nombre de la asignatura, su carácter (troncal, optativa, etc.) y los créditos asignados [28].

Las Universidades de Madrid y Sevilla disponen en sus Facultades de Odontología de asignaturas de Protección Radiológica homologadas como cursos de formación para directores de instalaciones de radiodiagnóstico dental. En el caso de la Facultad de Odontología de la Universidad de Sevilla, la asignatura se imparte con un contenido teórico y sesiones prácticas en forma de seminarios, estudios de casos prácticos y ejercicios de autoeva-

luación. Las sesiones prácticas requeridas por el Consejo de Seguridad Nuclear impartidas en grupos de cinco a seis alumnos, están configuradas dentro de las Enseñanzas Propias (Complementarias) del Vicerrectorado de Tercer Ciclo de la Universidad de Sevilla.

### 3. Formación reglamentada

Denominamos formación reglamentada a aquella que el Organismo Regulador exige acreditar para la concesión de los títulos necesarios con el fin de poder realizar determinadas tareas en el puesto de trabajo, tanto en instalaciones radiactivas médicas, principalmente radioterapia, medicina nuclear y laboratorios de fuentes no encapsuladas, en las cuales los mencionados títulos reciben la denominación de Licencias, como en instalaciones de rayos X, donde se denominan Acreditaciones. Las primeras están reguladas por el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas [8], tienen una vigencia de cinco años, están aplicadas a una especialidad, y requieren de la calificación de aptitud médica para su concesión y renovación. Por otro lado, las segundas están reguladas por el Real Decreto de instalación y utilización de aparatos de rayos X con

Tabla 4.

| Especialidad        | Procedimiento                                   |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| Cardiología         | Coronariografía, Angioplastia                   |
| Traumatología       | Osteosíntesis                                   |
| Cuidados Intensivos | Electrofisiología, ablación por radiofrecuencia |
| Digestología        | CPRE                                            |
| Neurocirugía        | Cirugía de columna                              |
| Urología            | Procedimientos percutáneos, litiasis renal      |
| Cirugía general     | Colicistectomía                                 |

finde de diagnóstico médico [9] y la Resolución del CSN de 5 de noviembre de 1992, tienen vigencia indefinida, y no están aplicadas a una especialidad concreta dentro del radiodiagnóstico.

Los destinatarios de esta formación deberán ser, por tanto, el personal de estas instalaciones que funcionalmente tiene asignadas las referidas tareas, y que además dispone de la titulación académica suficiente. En concreto, se distinguen las:

- Licencias de operador, que capacitan para manipular los dispositivos y las fuentes emisoras de radiación de la instalación. Para su obtención se requiere una titulación equivalente a la enseñanza secundaria obligatoria, como mínimo.

- Licencias de supervisor, que capacitan para planificar y dirigir la instalación radiactiva, y el trabajo de los operadores. Para su obtención se requiere una titulación universitaria de grado medio, como mínimo.

En ambos casos, es el CSN, mediante un Tribunal al efecto, el que debe estimar si la titulación es adecuada para el desempeño de las tareas correspondientes. Por otra parte, se distinguen las:

- Acreditaciones para operar instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico, para lo cual se necesita la titulación mínima de Bachiller, Formación Profesional de segundo grado o equivalente. Pueden acceder a esta acreditación directamente los Técnicos Especialistas en Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear (o la nueva denominación de Imagen para el Diagnóstico) y Radioterapia, y Ayudantes Técnicos Sanitarios o Diplomados en

Enfermería que se hallen en posesión del diploma de especialidad de Electrología y Radiología.

- Acreditaciones para dirigir instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico, para lo cual se necesita la titulación de Licenciado en Medicina y Cirugía, Odontología, Veterinaria o Diplomado en Podología. Pueden acceder a esta acreditación directamente los Facultativos Especialistas en Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Radioterapia.

Tanto en el caso de las licencias como en el de las acreditaciones, el CSN se atribuye la facultad de concesión de las mismas, en función de la experiencia y los conocimientos que pudieran acreditar los solicitantes, y de homologar programas de formación para la capacitación de los profesionales que, estando en posesión de la titulación académica

necesaria, necesiten una formación complementaria en protección radiológica para optar a la concesión de la correspondiente licencia o acreditación. Tal es el caso de médicos de diversas especialidades que utilizan los rayos X en determinados procedimientos (ver las más significativas en tabla 4), y para los cuales es de aplicación el artículo 2 del Real Decreto 1132/1990 mencionado en la introducción.

Como ya se ha dicho, el contenido, y en general, los requisitos para la homologación de los programas de formación, destinados a la capacitación para la obtención de las licencias de operación y supervisión de instalaciones radiactivas, se encuentran detallados en la *Guía de Seguridad* del CSN 5.12, mientras que para las acreditaciones para operar o dirigir instalaciones de rayos X con fines diagnósticos, se encuentran en la Resolución del CSN de 5/11/1992, aunque existe una guía de seguridad del CSN, la 5.13, aún pendiente de publicación, que es análoga a la 5.12 pero aplicada a instalaciones de rayos X.

En ambos casos, los contenidos incluyen aspectos sobre física y detección de las radiaciones, legislación, protección radiológica general



► **Figura 1.** En las Facultades de Odontología, el curso de PR debe incluir, además, la formación específica sobre la seguridad radiológica de los equipos de rayos X.

y específica, control de calidad, radiobiología, y aspectos operacionales particulares de cada disciplina. También se incluyen propuestas de contenidos para prácticas. Las cargas docentes varían entre las 54 horas para el programa de supervisores en el campo de aplicación de radioterapia, hasta las 12 horas para operar una instalación de radiodiagnóstico de propósito específico (dental o podológico). La información se detalla en la tabla 5.

Mención especial merece para nosotros el caso de la radiología intervencionista, al ser el único caso de subespecialidad con un requerimiento formal de formación adicional de segundo nivel en protección radiológica, a través del artículo 6 del Real Decreto 1976/1999 [6]. Esta formación, reglamentada por las autoridades sanitarias, junto con la de otros especialistas, mencionada en la *Guía europea RP 116* [12], será objeto de atención posterior, en el apartado de formación continuada.

De especial interés es, por ser una figura no adscrita a ninguna instalación concreta, la del título de jefe de servicio de protección contra las radiaciones ionizantes. Dicha figura es descrita por primera vez en el artículo 74 del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas [13], continuando la descripción de sus funciones, atribuciones, responsabilidades y requisitos académicos y de formación específica en las primeras y sucesivas ediciones de este [8] y del Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ioni-

zantes (artículo 18 del Real Decreto 2519/1982 [14], artículos del 15 al 17 del Real Decreto 53/1992 [15], artículo 25 del Real Decreto 783/2001 [16]). En todos los casos se otorga al CSN la competencia específica de valoración de la formación y experiencia del aspirante y de otorgamiento del título. Hasta el pasado año, solamente existía como referente para la obtención del título de jefe de servicio de protección contra las radiaciones ionizantes la *Guía de Seguridad 7.2* del CSN [17], donde se hacían una serie de recomendaciones sobre titulación académica, formación específica (equivalente a un curso de cuatro meses de duración), y experiencia (mínimo de tres años para instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría, con dos años en tareas ligadas directamente a la protección radiológica, y un entrenamiento de al menos seis meses en una instalación similar a la de destino).

El Instituto de Estudios de la Energía, unidad operativa perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) ha asumido, tradicionalmente, la responsabilidad de formar a los aspirantes al título de jefe de servicio de protección contra las radiaciones ionizantes, mediante su oferta anual de un curso superior para la obtención del reconocimiento de experto en protección radiológica, en las especialidades industrial y médica, que cumplía los requisitos, en cuanto a duración y contenidos, de la *Guía de Seguridad 7.2*, dejando al personal del CSN la evaluación

final de la adecuación del candidato mediante un examen en la propia instalación (además de la prueba final que se imponía a los alumnos del mencionado curso).

Recientemente, el CSN ha publicado una instrucción técnica [18] que sustituye a la *Guía de Seguridad 7.2*, y que tiene como objetivo establecer los requisitos sobre formación y experiencia mínimas que el Consejo de Seguridad Nuclear considera necesarios para los aspirantes a ser reconocidos como expertos en protección contra las radiaciones ionizantes, tanto en lo que respecta a los responsables del Servicio o Unidad Técnica de Protección Radiológica como a los técnicos a su cargo, en la línea de la figura descrita como *Qualified Expert* en la Directiva 96/29/EURATOM [19].

Por otra parte, el Real Decreto 220/1997 [20], por el que se crea y regula la obtención del título oficial de especialista en radiofísica hospitalaria, establece, en su disposición adicional segunda, que en las instituciones sanitarias del Sistema Nacional de Salud, las jefaturas de servicio de protección contra las radiaciones ionizantes deberán ser ocupadas por titulados universitarios superiores en posesión del título de especialista en radiofísica hospitalaria, con las funciones propias de su cargo, lo que aclara un posible conflicto [21] derivado de la definición de dos figuras, la anteriormente mencionada del *Qualified Expert*, y la del *Medical Physics Expert* que define la Directiva 97/43/EURATOM.

Tabla 5

|    | Áreas Básicas/<br>Modalidad General <sup>1</sup> |   |         |   | Áreas/Modalidad<br>Específica <sup>1</sup> |    |         |    | TOTAL por Área/<br>Modalidad |         | TOTAL      |         |
|----|--------------------------------------------------|---|---------|---|--------------------------------------------|----|---------|----|------------------------------|---------|------------|---------|
|    | OP                                               |   | SUP/DIR |   | OP                                         |    | SUP/DIR |    | General                      |         | Específica |         |
|    | T                                                | P | T       | P | T                                          | P  | T       | P  | OP                           | SUP/DIR | OP         | SUP/DIR |
| RT | 10                                               | 6 | 10      | 8 | 15                                         | 15 | 18      | 18 | 16                           | 18      | 30         | 36      |
| MN |                                                  |   |         |   | 10                                         | 10 | 14      | 12 |                              |         | 20         | 26      |
| RX | 13                                               | 6 | 15      | 7 | 9                                          | 3  | 11      | 4  | 19                           | 22      | 12         | 15      |
|    |                                                  |   |         |   |                                            |    |         |    |                              |         | -          | -       |

Fuente: GSG CSN 5.12 y 5.13 (Borrador-2).

<sup>1</sup> Las *Áreas* aplican a los cursos de ILRR., refiriéndose a contenidos comunes. Las *Modalidades* aplican a radiodiagnóstico, distinguiendo entre modalidad general, y modalidad específica (radiodiagnóstico dental o podológico).

OP: Operadores; SUP/DIR: Supervisores en el caso de ILRR., Directores en el caso de radiodiagnóstico; T: Clases teóricas; P: Clases prácticas.

A continuación, y a título ilustrativo, se presentan algunos datos (figura 2) extraídos de los informes [22] que anualmente (semestralmente hasta 1996) debe presentar el CSN al Congreso de los Diputados y al Senado, en los que se muestra comparadamente el crecimiento del número de instalaciones de rayos X con fines diagnósticos y el de las acreditaciones para operar y dirigir. Tras un periodo de cierta variabilidad, motivado probablemente por la progresiva adaptación de las instalaciones a la legislación vigente, el crecimiento tanto en el número de instalaciones inscritas en el registro como del número de acreditaciones concedidas parece haber llegado a un valor estacionario del 10%, aproximadamente.

#### 4. Formación continuada

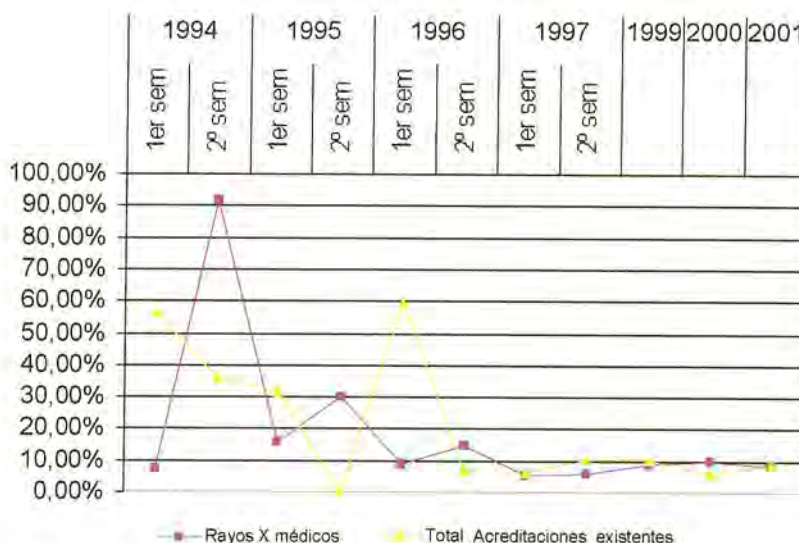
La formación continuada es un proceso permanente, orientado a la actualización profesional de los trabajadores y a su formación integral para que sean capaces de asumir sus responsabilidades en la mejora del servicio que prestan a la sociedad. Puede ser básica o avanzada. En protección radiológica se debe incluir junto con la formación práctica específica.

Esta formación está regulada por la autoridad sanitaria. Los centros sanitarios, las instituciones académicas o las sociedades científicas organizarán cursos básicos si es necesario.

Si se introduce un nuevo equipamiento en un centro sanitario, se deberá realizar una formación específica antes de su uso clínico y en ella participarán representantes de la empresa suministradora [7]. Esta participación ha de ser un requisito en las especificaciones de compra. La formación se deberá impartir en español.

Si se pone en marcha una nueva técnica, el personal deberá ser formado previamente a su utilización clínica. En ocasiones, esta formación deberá realizarse en otro centro con experiencia previa en la técnica. Además, las primeras aplicaciones

Figura 2.



de la nueva técnica se deberían realizar bajo la supervisión de personal con experiencia.

A los médicos prescriptores se les impartirá formación continuada para que las solicitudes de las pruebas diagnósticas o terapéuticas con radiaciones ionizantes estén debidamente justificadas.

##### 4.1 Trabajadores expuestos

###### 4.1.1. Personas en formación, estudiantes y trabajadores expuestos antes de iniciar su actividad

Deberán recibir una formación previa, a un nivel adecuado a su responsabilidad y al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes. El contenido de la formación será:

- Los riesgos radiológicos asociados.
- La importancia del cumplimiento de los requisitos técnicos, médicos y administrativos.
- Las normas y procedimientos de protección radiológica y precauciones que deben adoptar en su puesto de trabajo.

– En el caso de las mujeres, la necesidad de efectuar rápidamente la declaración de embarazo y la notificación de lactancia, así como el riesgo de contaminación del lactante en caso de contaminación radiactiva corporal.

A los trabajadores expuestos se les impartirá esta formación previa

mediante seminarios o documentación con información sobre los riesgos específicos de las zonas donde van a desarrollar su trabajo.

Al personal en formación (residentes, enfermeras/os en prácticas, etc.) se le impartirá seminarios informativos como parte de un seminario de prevención de riesgos laborales.

###### 4.1.2. Personal de instalaciones radiactivas

Los operadores y los supervisores de las instalaciones radiactivas (radioterapia, medicina nuclear o cualquier otra que haga uso de radiaciones ionizantes) deberán recibir formación continuada que incluya un repaso de las normas contenidas en el manual de funcionamiento de la instalación, simulacros de actuación frente a emergencias y actualización de sus conocimientos.

También el personal que, sin necesitar licencia, trabaje en una instalación radiactiva, deberá recibir formación con el objetivo de conocer y cumplir las normas de protección contra las radiaciones ionizantes y su actuación en caso de emergencia.

###### 4.1.3. Personal de las instalaciones de rayos X

El personal acreditado de las unidades asistenciales de Radiodiagnós-



► **Figura 3.** Para los estudiantes de Medicina, la información específica sobre el diseño y funcionamiento de las instalaciones de Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear o Radioterapia, forma parte de su programa de formación como residentes especialistas.

tico, deberá recibir formación al nivel adecuado a su responsabilidad, mediante programas que incluyan, entre otros temas, la protección radiológica del paciente, la correcta utilización de los equipos de rayos X desde el punto de vista de la protección radiológica, el programa de garantía de calidad de la correspondiente unidad asistencial y el entrenamiento con nuevos equipos o nuevas técnicas previo a su uso clínico. Estos conocimientos se deberán impartir sin ocasionar irradiaciones adicionales a los pacientes.

Los especialistas que realicen procedimientos intervencionistas requerirán un segundo nivel de formación en protección radiológica orientado, específicamente, a esta práctica. En la actualidad, la Sociedad Española de Radiología Vascular e Intervencionista (Servei) y la Universidad Complutense de Madrid llevan adelante un programa de formación en este sentido, cumpliendo escrupulosamente las recomendaciones de la *Guía Europea PR 116*, con duración total prevista de 20 horas (dos jornadas y media completas de trabajo) consistente en: 13 horas de clases teóricas, dos horas de seminarios prácticos de

discusión, tres horas de prácticas (que se sugería combinar con sesiones de vídeo) y dos horas de evaluación [23].

La institución que imparta el programa de formación emitirá un certificado en el que constarán, entre otros detalles, el número de horas lectivas y el director del curso.

El resto del personal implicado en las tareas que se realicen en unidades asistenciales de radiodiagnóstico y radiología intervencionista deberá actualizar sus conocimientos participando en actividades de formación continuada en protección radiológica, según su nivel de responsabilidad.

#### 4.1.4. Trabajadores no expuestos

Los trabajadores no expuestos, pero que desarrollen su trabajo en el ámbito de las áreas con riesgo radiológico, deberán ser informados sobre los aspectos generales del riesgo radiológico.

#### 4.2 Trabajadores externos

Se impartirá formación e información a los trabajadores externos con riesgo de irradiación sobre las particularidades de las zonas con riesgo radiológico donde hayan de intervenir.

#### 4.3 Personal del Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica

La Dirección del centro facilitará al personal adscrito a este servicio su formación continuada en protección radiológica.

#### 4.4 Organización de las actividades docentes

Periódicamente el servicio de Radiofísica y Protección Radiológica propio del centro o la Unidad Técnica de protección radiológica contratada impartirá cursos de formación continuada en protección radiológica.

Los cursos que se organicen para instalaciones determinadas especificarán la organización y funciones del personal adscrito a ellas, tanto en condiciones normales como de emergencia. Se definirán los programas básicos de formación y entrenamiento para el personal con y sin licencia y se establecerá la competencia técnica para cada misión específica, así como los programas de actualización que se consideren adecuados.

### 5. Discusión y recomendaciones

Los artículos 53, 54, 55 y 56 del documento de la UE *Radiation Protection 116* [12] establecen una propuesta de contenidos deseables para los cursos de formación en materia de protección radiológica en las enseñanzas de pregrado de las Facultades de Medicina y Odontología. Existen múltiples alternativas de otras instituciones y autores [24]. En este último trabajo se propone un programa para las Facultades de Medicina, donde se asume que la Física de Radiaciones se ha impartido previamente en otras disciplinas.

En marzo del presente año, la Dirección General de Universidades dictó una resolución por la que se impone la necesidad de impartir formación en materia de Protección Radiológica en todas las áreas de ciencias de la salud, por la que los *colectivos diana* se amplían de las Facultades de Medicina, Odontolo-

gía y Escuelas de Podología a las Escuelas de Enfermería.

La posibilidad de impartir estas materias en las diferentes instituciones académicas dependerá en cierta forma de la disponibilidad de profesorado existente en las áreas de conocimiento con responsabilidad en esta docencia. En algunos casos esta carga docente adicional podrá ser asumida por los profesores numerarios o interinos existentes, pero en otros será necesario la contratación de nuevo personal. En cualquier caso, esta disciplina debería formar parte de las enseñanzas troncales de los *currícula* del área de ciencias de la salud, si se ha de cumplir la legislación vigente. Es un momento adecuado el que se avecina en el ámbito universitario, con la implantación de los nuevos planes de estudio que han de cumplir los objetivos de homologación de la Unión Europea.

Desde el punto de vista del alumnado parece deseable que se aborde la posibilidad de considerar la obtención de licencias o acreditaciones, lo que enlaza con la formación que hemos denominado *reglamentada*. Esta opción incrementaría el interés por el alumnado en aquellos centros académicos donde estas asignaturas tuviesen el carácter de optativa.

Para intentar resolver este problema habría que distinguir tres situaciones en relación al tipo de licencia o acreditación requerida por los diferentes colectivos. Un primer caso lo constituirían las Facultades de Odontología y Escuelas de Podología. Este colectivo necesitaría en principio acreditaciones para dirigir y/o operar instalaciones de Radiodiagnóstico. Dado que estos centros suelen disponer de equipos de rayos X donde realizar las prácticas requeridas en estos cursos, el configurar las asignaturas de Protección Radiológica como cursos homologados por el CSN sería muy factible y útil para el alumnado. Evidentemente la acreditación correspondiente sólo podrían obtenerla aquellos alumnos que

finalizasen los estudios académicos.

En el caso de las Facultades de Medicina, estas asignaturas podrían constituirse como la parte básica y general de cursos de formación en materia de Protección Radiológica, necesarios para la obtención de licencias de instalaciones radiactivas. Las sesiones prácticas de estos cursos podrían estar constituidos por seminarios, clases de problemas y análisis de casos prácticos. Una vez en la especialidad de

"La formación reglamentada es aquella que el Organismo Regulador exige acreditar para la concesión de los títulos"

Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear o Radioterapia, podrían recibir la formación teórica complementaria asociada a dicha especialidad y al mismo tiempo realizar las prácticas con el equipamiento específico existente en los centros hospitalarios correspondientes.

Las Escuelas de Enfermería presentan un problema similar al caso de las Facultades de Medicina, por lo que las asignaturas de Protección Radiológica podrían contener la información básica y general de cursos de operadores de instalaciones radiactivas, para una vez en la instalación correspondiente recibir la formación complementaria específica que le permitiera acceder a la licencia de IR.

En lo referente a la formación que actualmente podemos denominar reglamentada, y dirigida a personas que han completado sus estudios académicos, y en lo que respecta al personal de las instalaciones radiactivas, hay que alabar la racionalización que ha supuesto, a raíz de la publicación del nuevo Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, el aumento

del periodo de vigencia y la aplicación por especialidades, y no por centros de trabajo, de las licencias para operar o supervisar instalaciones radiactivas. Esto ha permitido diseñar unos contenidos mucho más ajustados a cada especialidad, de acuerdo a la *Guía de Seguridad 5.12*. No obstante, se echa en falta tal vez una mayor precisión en los contenidos propuestos, pues la guía, con la intención tal vez de dar cobertura al más amplio abanico de textos ya existentes y no encorsetar en exceso a los autores a la hora de redactar los nuevos textos de apoyo, peca de falta de concreción en la definición de los aspectos que deben tratarse. Para paliar la diversidad de textos generada a raíz de la aplicación de la guía, las sociedades científicas están homologando contenidos para todas las especialidades, con el fin de contar con unos textos unificados, que garanticen la homogeneidad y la adecuación entre las materias impartidas y las pruebas de evaluación. Incluso en la actualidad el Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) y el CSN están desarrollando un proyecto para poner a disposición de personal docente y entidades organizadoras material didáctico para dieciséis diferentes cursos de formación en protección radiológica [25].

Por otra parte, parece esencial, y esto es algo aplicable a todos los colectivos, acercar la formación a la práctica diaria, rebajando el nivel teórico de las exposiciones para referirse a las situaciones reales.

En el caso del Radiodiagnóstico, la situación es diferente. La concesión de acreditaciones a los especialistas ha supuesto la pérdida de tal vez la última y en la mayoría de los casos única oportunidad de que muchos profesionales reciban una formación estructurada y solvente en protección radiológica, de mayor nivel que la que puede llegar a impartirse en programas universitarios a alumnos, previamente a su licenciatura y posterior especialización. Esta situación, de difícil vuelta atrás, podría paliarse a través de la

formación continuada, con el *handicap* de que este tipo de actividades se organizan frecuentemente fuera del horario laboral, y no son de asistencia obligatoria, lo que imposibilita la participación a muchos profesionales.

Para los no especialistas, que no tienen la posibilidad de obtener su acreditación sin pasar por un curso de formación y una prueba de evaluación, la situación no es menos compleja, pues nos encontramos con el mismo problema de dificultad para la asistencia y falta de atractivos para profesionales de formación muy alejada de la física de las radiaciones.

En el caso de técnicas de alta exposición a la radiación, a las que el documento RP 116 y la propia legislación vigente dan una consideración especial, la situación invita al optimismo. Las sociedades médicas han asumido el problema como propio y están facilitando el acceso de sus miembros a actividades de formación convenientemente homologadas por la autoridad sanitaria competente [26, 27].

Hay que aplaudir también la publicación de la instrucción técnica del CSN que sienta las bases para la obtención del reconocimiento como experto en protección radiológica.

En lo que respecta a la formación continuada en el puesto de trabajo, también queda mucho por hacer, en tanto no se establezcan y generalicen definitivamente los programas de pregrado, que parecen la mejor solución para suministrar una información general orientada a la protección al paciente, dejando la formación sobre nuevas técnicas y el reciclaje sobre las existentes para ser adquirida en el propio desempeño laboral en los centros de trabajo. En la actualidad, es la única forma de acceder a los médicos prescriptores de los estudios, y primeros, que no únicos, responsables de la exposición del paciente a la radiación. Es esencial que conozcan elementos básicos de radiología y radiobiología, que les permitan

hacer un análisis apropiado de la justificación individual de cada exploración. Si bien deberían contar siempre con el respaldo de especialistas, esto a veces no es posible en unos centros sanitarios saturados de trabajo.

Contra estas limitaciones anteriormente descritas, pensamos que es necesario recurrir a buenas dosis de imaginación, que nos permitan producir documentos rigurosos pero atractivos, y a las posibilidades que nos ofrecen las nuevas tecnologías, fundamental-

**"Se impone la necesidad de impartir formación en materia de protección radiológica en todas las áreas de ciencias de la salud."**

mente en lo referente a soluciones multimedia, edición de guías y otros documentos divulgativos, proyectos de investigación que incluyan aspectos formativos, etc.

## 6. Sumario y conclusiones

En el presente trabajo hemos analizado la situación de la formación en protección radiológica en el ámbito sanitario español desde tres enfoques complementarios: la formación reglada, la formación reglamentada, y la formación continuada.

Del análisis de cada una de ellas desgranado en las líneas anteriores podemos extraer las siguientes conclusiones:

### a) Formación reglada

– Existe una apreciable dispersión de contenidos, horas de formación y "situación administrativa" en lo que respecta a la presencia en los programas docentes de las diferentes universidades españolas en contenidos relacionados con la protección radiológica.

– La *Directiva MED* obliga explícitamente a los países miembros a incluir contenidos relacionados con la protección radiológica en los *currícula* de las Facultades de Medicina y Odontología.

– Recientemente y en relación con lo anterior, los Ministerios de Sanidad y Consumo y de Educación y Cultura han acometido acciones para mejorar la situación en este sentido.

– El Consejo Nacional de Universidades, por medio de su Comisión Académica, ha aprobado la introducción de un curso de protección radiológica en los *currícula* básicos de las Facultades de Medicina y Odontología.

Por todo lo anterior, hay que esperar que las universidades españolas alcancen un mayor grado de integración y homogeneización en sus programas docentes de protección radiológica en los próximos años, y esto debe ser considerado un importante hito, no sólo de cara a la "salud" de la formación en protección radiológica, sino como medida esencial de protección radiológica *per se*, como promoción del uso de los criterios de justificación en el uso de las radiaciones ionizantes en medicina.

### b) Formación reglamentada

– Por el hecho de estar bajo el control y la inspección del Consejo de Seguridad Nuclear, por estar regulada en la legislación española, y sobre todo, por su carácter obligatorio, es la formación que más cerca está de cumplir el objetivo que persigue.

– A pesar de que los programas docentes deben adaptarse a guías o resoluciones, y ser homologados por el organismo regulador, sería deseable una menor dispersión en sus contenidos.

Hay que significar que aquello que ha motivado la principal virtud de este modelo de formación, su regulación en la legislación española, de manera que la ha convertido en la más influyente,

por generalizada, en el conjunto de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, también ha constituido su mayor defecto: su falta de flexibilidad para adaptarse a las necesidades y peculiaridades del alumnado. Es necesario que nos planteemos, en un análisis crítico, si estamos haciendo bien intentando enseñar nociones de físi-

ca atómica y nuclear a médicos cardiólogos.

#### c) Formación continuada

Si dejamos aparte la formación que debe acompañar a la puesta en marcha de nuevas técnicas y equipos, la formación en el puesto de trabajo es hoy día, en el ámbito sanitario, la que mayor repercusión debe tener en la protección radiológica de los pro-

fesionales y sobre todo, de los pacientes.

Sin embargo, es necesario buscar, y tal vez sea este el mayor reto actual de la formación en protección radiológica en el ámbito sanitario, soluciones imaginativas, que logren captar la atención de los profesionales, y paliar el problema de la escasez de tiempo disponible para formación. 

#### Referencias

- [1] ICRP 73, *Radiological Protection and Safety in Medicine*, Annals of the ICRP, Vol. 26, Num. 2, 1996. Pergamon. U.K.
- [2] Comisión Europea. *Directiva del Consejo 97/43/EURATOM de 30 de junio sobre protección de la salud de los individuos contra los riesgos de la radiación ionizantes relativos a la exposición médica*. DOCE, L 180:22-27; 9.7.97. <http://europa.eu.int/comm/environment/radprot>.
- [3] *Real Decreto 1132/1990, de 14 de septiembre, por el que se establecen medidas fundamentales de protección Radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos*. BOE del 18/09/1990.
- [4] *Real Decreto 1566/1998, de 17 de julio, por el que se establecen los criterios de calidad en radioterapia*. BOE de 28/08/1998.
- [5] *Real Decreto 1841/1997, de 5 de diciembre, por el que se establecen los criterios de calidad en Medicina nuclear*. BOE de 19/12/1997.
- [6] *Real Decreto 1976/1999, de 23 de diciembre, por el que se establecen los criterios de calidad en radiodiagnóstico*. BOE de 29/12/1999.
- [7] *Real Decreto 815/2001, de 13 de julio, sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas*. BOE del 14/07/2001.
- [8] *Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas*. BOE de 31/12/1999.
- [9] *Real Decreto 1891/1991, de 30 de diciembre, sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico*. BOE de 3/01/1992.
- [10] GSG-05.12 Homologación de cursos de formación de supervisores y operadores de instalaciones radiactivas. CSN, 1998 (64 págs.).
- [11] *Resolución de 5 de noviembre de 1992 del CSN, por la que se establecen las normas a que habrán de sujetarse la homologación de cursos o programas que habiliten para la dirección y operación de las instalaciones de rayos X con fines diagnósticos, y la acreditación directa del personal que ejerza dichas funciones* (BOE 14/11/1992). Modificada por Resolución del CSN de 1 de octubre de 1993 (BOE 20/10/1993).
- [12] European Comisión. *Radiation Protection 116, Guidelines on education and training in radiation protection for medical exposures*. Directorate General, environment, 2000.
- [13] *Decreto 2869/1972, de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas*. BOE de 24/10/1972.
- [14] *Real Decreto 2519/1982, de 12 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes*. BOE de 08/10/1982.
- [15] *Real Decreto 531/1992, de 24 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes*. BOE de 12/02/1992.
- [16] *Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes*. BOE de 26/07/2001.
- [17] GSG-07.2. *Cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes para responsabilizarse del correspondiente Servicio o Unidad Técnica*. CSN, 1998 (64 págs.).
- [18] *INSTRUCCIÓN de 6 de noviembre de 2002, del Consejo de Seguridad Nuclear, número IS-03, sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes*.
- [19] *Directiva 96/29/EURATOM del consejo, de 13 de mayo de 1996, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes*. DOCE 159/I, de 29-06-96.
- [20] *Real Decreto 220/1997, de 14 de febrero, por el que se crea y regula la obtención del título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria*. BOE del 1/03/1997.
- [21] E. Vañó, IN. Lamm, A. Del Guerra, HJ. Van Kleffens. "Medical Physics Experts and competence in radiation protection". Proceedings of the II International Conference about Radiation Protection Training, future strategies, held in Madrid, 17-19 September 2003.
- [22] Informes del CSN al Congreso de los Diputados y al Senado, refs. CSN/IS/26/94, CSN/IS/27/94, CSN/IS/28/95, CSN/IS/29/95, ISG/30/96, ISG/31/96, ISG/31/97, ISG/32/97, ISG/33/98, ISG/34/98, INF-01.99, INF-02.00, INF-03.01, INF-04.02.
- [23] E. Vañó, L. González, M. Canis, A. Hernández Lezana. "Curso Piloto de Protección Radiológica (segundo nivel) de la Sociedad Española de Radiología Vascular e Intervencionista (Servei)". Comunicación personal.
- [24] E. Vañó, L. González, C. Maccia, R. Padovani. *Specific Educational Objectives in Radiological Protection and Quality Assurance for Diagnostic Radiology Installation*.
- [25] M. Marco, M. Rodríguez, E. Hernando, S. Falcón, M. Rodríguez, R. Villarreal. "Radiation Protection Training web site to hold pedagogical material for developing courses in a distance way". Proceedings of the II International Conference about Radiation Protection Training, future strategies, held in Madrid, 17-19 september 2003.
- [26] E. Vañó, L. Gonzalez, K. Faulkner, R. Padovani and J.F. Malone. *Training and Accreditation in Radiation Protection for Interventional Radiology*. Radiat. Prot. Dosim. 94(1-2), pp 137-142 (2001)
- [27] E. Vañó, F. Vargas. *Training in radiological protection for interventional cardiology*. Rev. Esp. Cardiol. 2003 Jan;56(1): 111-2.
- [28] J.J. Peña, M<sup>a</sup>A. Rosell y J. Calvo. *Escenarios de la formación en Protección Radiológica en las Facultades de Medicina y Hospitales Universitarios*.

 Enrique Ugedo Gudín\*

# Simuladores de centrales nucleares en España (1978- 2003)

Con motivo del 25º aniversario del nacimiento del Centro de Adiestramiento de Tecnatom, el presente artículo hace un repaso de los diferentes periodos de la tecnología de

simulación aplicada a la capacitación profesional en el sector nucleoelectrico, desde la entrada en servicio de los primeros prototipos en Estados Unidos hasta la época actual.

*No podemos entender el Universo que está ante nosotros si no aprendemos primero el lenguaje y los símbolos con que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático y los símbolos son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin los cuales es imposible entender una sola palabra suya.*

*Galileo Galilei (ss XVI-XVII)*

## 1. Introducción

El año 2003 ha sido testigo de la entrada en funcionamiento de cuatro simuladores de alcance total con sala de control (en adelante *simuladores réplica*<sup>1</sup>), cuyas centrales de referencia son Ascó, Garoña, Trillo y Vandellós II, que vienen a unirse a los de Almaraz (inicialmente configurado según

Lemóniz), en 1978 y Cofrentes, en 1979. De esta manera los técnicos y especialistas de todas las centrales nucleares españolas, que contemplan un dilatado horizonte de operación, recibirán los cursos de capacitación práctica en simuladores réplica, específicos de su propia central.

Se cumple, por tanto, el 25º aniversario del nacimiento del Centro de Adiestramiento de Tecnatom, como respuesta a una iniciativa del sector eléctrico español, y con la finalidad de dotarse de los medios tecnológicos más avanzados para la capacitación integral del personal de explotación del parque nuclear español, compuesto mayoritariamente por centrales de agua ligera, en sus dos versiones de agua a presión (PWR) y en ebullición (BWR).

Al hilo de la efemérides antes referida, me propongo exponer en este trabajo una reseña histórica de la tecnología de simulación aplicada a la capacitación profesional en el sector nucleoelectrico, desde la entrada en servicio de los primeros prototipos en Estados Unidos, a finales de la década de los sesenta,

hasta la época actual, con más de 200 simuladores en operación.

## 2. Antecedentes:

### Primeras aplicaciones de la simulación a la formación profesional (1968-1973)

El periodo 1968-1973 contempla el desarrollo de los primeros prototipos de simuladores de centrales nucleares, coincidiendo con la fase temprana de la industria del ordenador digital; una configuración de cálculo digital para un simulador prototipo suponía una inversión<sup>2</sup> extremadamente prohibitiva, cercana al millón de dólares, debido a lo cual se adoptaron configuraciones de tipo híbrido tales como el ordenador de propósito general Sigma 5, acoplado a uno o dos procesadores de propósito industrial (P-2000 o bien PDP-11). Entre los simula-

\* Enrique Ugedo Gudín.

Doctor Ingeniero Industrial y Director Corporativo de Tecnatom, S.A.

<sup>1</sup> Este término denota un alcance de simulación que incluye, al menos, los procesos, sistemas y componentes gobernados desde la sala de control y la propia sala de control con sus paneles, consolas e instrumentación asociada.

<sup>2</sup> A efectos comparativos cabe citar que la plataforma de cálculo más compleja instalada en la última generación de simuladores de Tecnatom ha supuesto una inversión de 20.000 dólares, mejorando sustancialmente las prestaciones de alcance y precisión de modelación con relación a las configuraciones al uso en la etapa inicial.

dores que hicieron su aparición en este periodo cabe citar el de la central de Dresden II, construido en 1968 por General Electric, e instalado en Morris (Illinois), y el de Zion I, construido en 1972 por Westinghouse y ubicado asimismo en el estado de Illinois. Es oportuno señalar que un buen número de titulados españoles, destinados a ocupar puestos de responsabilidad en las centrales nucleares de segunda generación, así como los primeros instructores de Tecnatom, recibieron su formación práctica en ambos centros de adiestramiento durante la década de los setenta.

La escasa potencia de cálculo disponible, junto con los requisitos de tiempo real, imponía fuertes limitaciones en la simulación, tanto en el alcance como en la precisión de los modelos matemáticos utilizados –apenas 12 condiciones iniciales y alrededor de 100 “malfunciones”– lo cual, unido al empleo masivo del lenguaje *Ensamblador*, dificultaba las tareas de corrección de discrepancias (desviaciones del modelo *versus* comportamiento dinámico del proceso real) así como las actualizaciones del modelo como consecuencia de modificaciones de diseño en la central de referencia.

### 3. El desarrollo (1973-1978): Inauguración del Centro de Adiestramiento de Tecnatom

La irrupción en el mercado, durante este periodo, de máquinas de cál-

culo digitales de 32 bits permite a los fabricantes de simuladores mejorar sensiblemente las prestaciones de los mismos, aumentando el alcance de simulación (10.000 señales entrada/salida, doblando la capacidad del prototipo), 50 condiciones iniciales y alrededor de 150 “malfunciones”, al tiempo que se incrementa la precisión de los modelos y se facilita las funciones de mantenimiento mediante la introducción del lenguaje *Fortran*.

En esta época (1977) aparece la primera versión de la normativa ANS-3.5 que recibe respaldo oficial de la Nuclear Regulatory Commission (NRC) norteamericana en la *Guía Reguladora RG 1-149*, cuyo título se refiere a la utilización de simuladores en el adiestramiento de operadores y supervisores de sala de control; más tarde se ampliaría su aplicación como entorno de evaluación para los exámenes de licencia.

La planificación energética española en esta década asigna un importante papel a la generación nucleoelectrónica en base a centrales de agua ligera (tecnologías BWR y PWR) de potencia unitaria próxima a los 1.000 MWe; la industria nuclear en su conjunto recibe un impulso considerable hacia la autosuficiencia tecnológica en ingeniería, construcción, bienes de equipo y servicios. Entre estos últimos, la formación de personal reviste carácter estratégico, por lo que el sector eléctrico español

decide encomendar a Tecnatom la construcción y operación de un centro de adiestramiento dotado con simuladores de alcance total, replicando las dos tecnologías de centrales de agua ligera que serían la base de la segunda generación de centrales nucleares españolas.

Los simuladores, de procedencia norteamericana, y tras un periodo de construcción de 30 meses, se ubican en la nueva sede social de Tecnatom en San Sebastián de los Reyes (Madrid); las principales características se recogen en la tabla 1.

Los simuladores pasan a integrarse inmediatamente en los programas de formación del personal técnico de explotación de las centrales nucleares, tanto en el proceso de formación inicial –primera licencia– como en el de recalificación para renovación de la misma. Su versatilidad funcional permite utilizarlos como simuladores de principios básicos, para consolidar los conocimientos científicos en las áreas de termohidráulica y cinética del reactor, y en lo que constituye su papel primordial: la práctica de operación de la central en condiciones normales (arranque, parada, cambios de potencia), anormales y de emergencia.

A destacar que los servicios de adiestramiento en nuestros simuladores se extienden, durante la siguiente década, a un buen número de tripulaciones de centrales nucleares (7) de otros tantos países, cuyos diseños responden a la

Tabla 1. Parámetros principales de los primeros simuladores españoles

|                                | Simulador PWR             | Simulador BWR        |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Central de referencia          | Lemóniz                   | Cofrentes            |
| Fecha entrada en servicio      | Nov. 1978 (Almaraz, 1992) | Abril 1979           |
| Procesador                     | SEL 32/55 (2 CPU's)       | SEL 32/55 (2 CPU's)  |
| Condiciones iniciales          | 60                        | 60                   |
| Malfunciones                   | 200                       | 200                  |
| Grabación dinámica             | Sí                        | Sí                   |
| Retroceso y play-back          | Sí                        | Sí                   |
| Simulación rápida <sup>1</sup> | x 10; x 100; x 1.000      | x 10; x 100; x 1.000 |
| Simulación lenta               | : 10; : 100; : 1.000      | : 10; : 100; : 1.000 |

<sup>1</sup>Sólo aplicable a fenómenos físicos de evolución lenta, por ejemplo: crecimiento del xenón tras disparo del reactor. Previamente se advierte al alumno del cambio de escala temporal.



► Figura 1. Simulador de la central nuclear de Cofrentes.



► Figura 2. Simulador de la central nuclear de Lemóniz.

misma tecnología que las centrales de referencia de los simuladores.

#### 4. El periodo de madurez (1979-1990): Efectos del accidente de TMI

El accidente en la central de TMI, en Harrisburgh (Pa), ocurrido el 28 de marzo de 1979, marca un punto de inflexión en la industria de generación electronuclear; si bien no es éste el lugar para extenderse en consideraciones sobre el incidente aludido, es bien notorio que la industria tomó buena cuenta de las lecciones aprendidas tras exhaustivos análisis de causas raíces, procediendo con rigor y diligencia a la implantación de un amplio abanico de medidas que afectan tanto al diseño y a la operación de las centrales (Centro de Respuesta a Emergencias, Centro de Apoyo Técnico y Sistemas de Vigilancia de Parámetros de Seguridad, entre otras) como a la capacitación del personal de explotación. Entre éstas cabe citar las que afectan a los perfiles profesionales del operador de reactor y supervisor de turno, que se concretan en una ampliación del conocimiento de las leyes físicas que gobiernan los procesos energéticos y una intensificación y mejora del adiestramiento en simulador. Como consecuencia se inicia una etapa caracterizada por una avalancha de pedidos de nuevos simuladores —alrededor de 100 en la década de

los ochenta—, así como por la introducción de mejoras en los modelos de simulación capaces de reproducir fenómenos termohidráulicos complejos tales como el flujo bifásico, en el circuito primario de las centrales PWR. La potencia de cálculo requerida para satisfacer las exigencias del trinomio alcance-precisión-tiempo real (especificados en la referida ANS-3.5) fue proporcionada por configuraciones basadas en súper-miniordenadores Gould-SEL CONCEPT-32.

##### 4.1. Impacto en los simuladores españoles

Las primeras acciones post-TMI se centran en seminarios teórico-prácticos orientados a familiarizar al operador con la casuística asociada al accidente severo, haciendo hincapié en los fenómenos termohidráulicos y neutrónicos, estableciendo estrategias operativas para prevenir, en primera instancia, o mitigar los daños al núcleo si el accidente progresa.

En este contexto Tecnatom acomete en el año 1985, con el apoyo de Unesa vía Plan de Investigación Electrotécnico (PIE), un importante proyecto de desarrollo tecnológico destinado a posibilitar una simulación fidedigna de fenómenos termohidráulicos complejos, tales como el flujo bifásico, caudales a contracorriente, generación y transporte de gases incondensables, etc.

El proyecto, denominado Modelos Avanzados de Simulación (MAS), consiste, básicamente, en la adaptación de códigos de ingeniería de alta precisión (TRACS en termohidráulica y cinética tridimensional en neutrónica) para los sistemas nucleares de generación de vapor (SNGV) soportados por una potente arquitectura de cálculo (ver figura 3) residente en un súper-ordenador CRAY-X-MP/14 SE, que procesa simultáneamente los modelos del SNGV de ambos simuladores, acoplado a sendos ordenadores ENCORE 32-6780 dedicados a los modelos del resto de sistemas de la central (MRC).

El proyecto culmina en 1991 y supone cuantiosas inversiones, tanto en ingeniería (adaptación de códigos) como en adquisición de equipos (plataforma de cálculo), situando a nuestros simuladores entre los más completos y eficientes a escala mundial, en términos de precisión, alcance y complejidad de escenarios simulados. De hecho, los modelos utilizados en la configuración descrita conservan su vigencia en la actualidad, orientándose las innovaciones ulteriores a la sustitución recurrente de las plataformas de cálculo (mayor potencia y menor coste), así como a la introducción de *model builders* (eléctricos, hidráulicos y lógicos) que permiten mecanizar el proceso de modelación de sistemas convencionales, facilitando las tareas posteriores de mantenimiento.

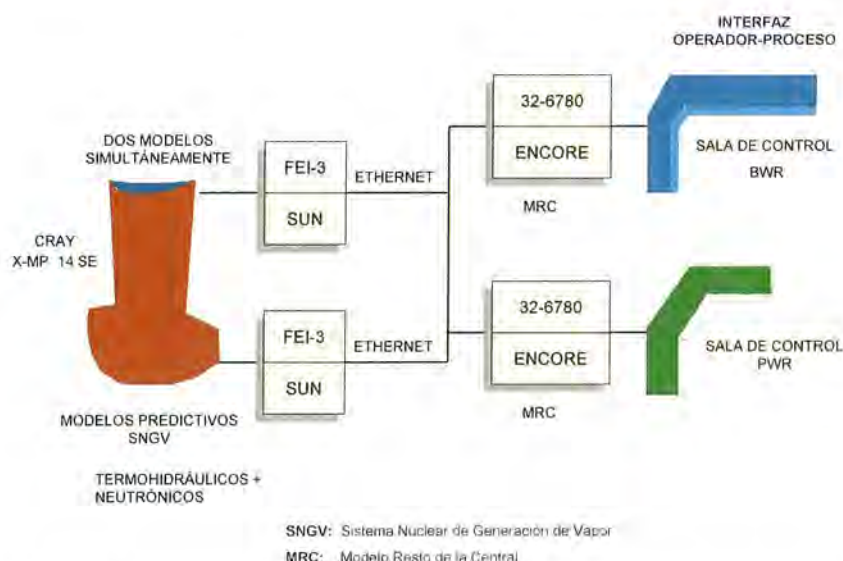


Figura 3. Modelos Avanzados de Simulación (MAS). Plataforma de cálculo año 1991.

## 5. La década de los noventa: Contribución del simulador a la Cultura de Seguridad

A principios de esta década (año 1991) se hace público el informe INSAG-4<sup>4</sup> sobre Cultura de Seguridad, dirigida tanto a organizaciones como a individuos, en el que se analiza la vinculación entre el comportamiento humano y la seguridad de las centrales, con la finalidad de prevenir los errores y sacar provecho de los aspectos positivos de las acciones humanas.

La respuesta a esta iniciativa por parte de las organizaciones de adiestramiento es ampliar los planes de capacitación profesional para dar cabida a una serie de competencias de orden actitudinal, que reciben la denominación de Factores Humanos (*Soft skills*, en terminología inglesa), cuya adopción como valor individual por todos los integrantes de la plantilla de la central garantiza niveles de excelencia en todas las cuestiones que afectan a la seguridad nuclear.

La sala de control de los simuladores réplica constituye un mar-

co idóneo para la formación del turno de operación en factores humanos —liderazgo, comunicación, trabajo en equipo, diagnóstico, autoverificación, etc.—, ya que permite la observación, valoración y eventual corrección de prácticas conductuales bajo cualquier circunstancia operativa de la central.

Otro hecho destacable durante esta década, y que incide directamente en el adiestramiento, es la necesidad de definir con precisión el *currículum* profesional exigible a cada candidato a un determinado puesto de trabajo, habida cuenta de la avalancha de requisitos y recomendaciones surgidos a raíz de TMI y Chernobil.

A tal fin se ponen en práctica metodologías novedosas tales como el *Systematic Approach to Training* (SAT), que identifican con rigor, para cada puesto de trabajo de una determinada instalación, el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que debe reunir el candidato con el objetivo de garantizar el máximo rendimiento en el cumplimiento de las funciones/tareas asociadas al puesto; el entregable final del SAT consiste, en primer lugar, en una planificación detallada que contempla el *currículum* profesional específico de cada puesto de traba-

jo, los requisitos de entrada del candidato a comprobar en el proceso de selección, el programa de formación y los medios de adiestramiento más eficaces para cada fase del programa de formación; posteriormente establece los mecanismos de seguimiento y evaluación de competencias adquiridas como resultado de la impartición de la formación y, finalmente, concreta el procedimiento de realimentación que permite la actualización continua de los programas formativos y el mantenimiento de las competencias profesionales.

### 5.1 El Proyecto Simulador Gráfico Interactivo (SGI)

Los medios de adiestramiento postulados en el SAT consistían en libros de texto, manuales, laboratorios, simuladores réplica y las propias instalaciones de la central; sin embargo, aprovechando la experiencia adquirida por Tecnatom en protocolos de comunicación entre la plataforma informática que da vida al simulador réplica y las estaciones gráficas de visualización incorporadas a la sala de control para simular las funciones del ERIS (Sistema de información y respuesta a emergencia BWR) y su equivalente SAMO (PWR), se decide crear una nueva configuración conocida como Simulador Gráfico Interactivo (SGI), que aporta un sustancial valor añadido al proceso de formación, en aspectos científicos y tecnológicos del conocimiento, al tiempo que constituye un valioso instrumento auxiliar de ingeniería para el diseño y optimización de procesos (banco de pruebas y validación).

El SGI es una herramienta pedagógica y analítica, complementaria del simulador réplica, con el cual comparte modelos y plataforma de cálculo, y cuya interfaz persona-proceso tienen lugar mediante una serie de monitores activos que facilitan información sobre el proceso y permiten actuar sobre el mismo (ver figura 4).

<sup>4</sup> INSAG: Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear, convocado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, a raíz del accidente de Chernobil (1986).

Sus capacidades más relevantes son (figura 5):

- Generación de paquetes pedagógicos gráficos adaptados a las necesidades concretas de cada puesto de trabajo (auxiliares de operación, técnicos de mantenimiento, protección radiológica, etc.).

- Análisis de transitorios mediante el acceso a variables internas del proceso (modeladas y no accesibles para la instrumentación de sala de control), lo que permite reforzar el adiestramiento cognitivo del personal de operación.

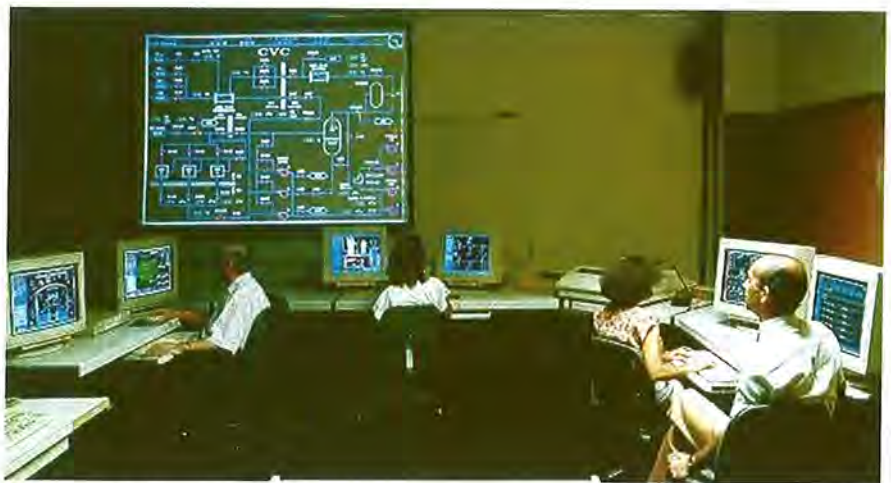
- Herramienta de ingeniería para determinar la idoneidad de potenciales cambios de diseño de la central de referencia, sin necesidad de un conocimiento del panel donde se aloja la instrumentación y control asociada al proceso.

- Utilización como simulador de demostración de principios básicos (físico-químicos) y de funciones parciales (tecnología de sistemas y componentes de centrales), insertado en las diferentes etapas del programa de capacitación del personal de explotación.

En base a estas capacidades, y una vez contrastado el valor añadido aportado por este concepto de simulación, se procede, durante esta década, al diseño y construcción de SGI específicos que cubre, prácticamente, todas las centrales del parque nuclear español, con la excepción de la central nuclear de Trillo que será abordado posteriormente, en paralelo con su simulador réplica.

## 5.2 Proyecto PASCAL

Como consecuencia del cierre definitivo de la central nuclear de Lemóniz, referencia del simulador PWR, se decide su sustitución por la central nuclear de Almaraz, asignándose a Tecnatom la ejecución del proyecto correspondiente, con las premisas de maximizar la utilización de la configuración existente y minimizar el tiempo de indisponibilidad de la instalación, a fin de cumplir los compromisos con las centrales españolas de tipo

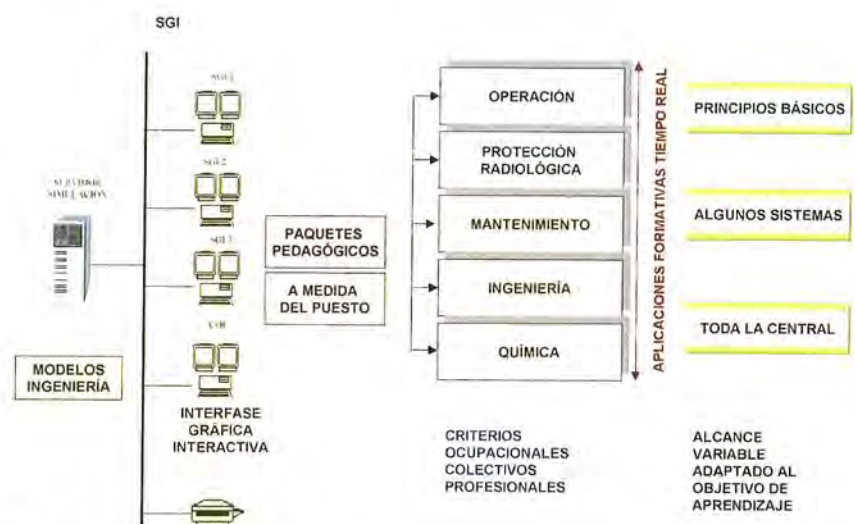


► Figura 4. Simulador Gráfico Interactivo con tres puestos de trabajo.

PWR. Así nace el PASCAL (Proyecto de Adecuación del Simulador a Central de Almaraz), cuya ejecución se subdivide en dos fases.

La primera fase se ejecuta entre 1989 y 1992, y consiste en la modelación específica y completa de los sistemas y componentes de Almaraz, dotando a la sala de control simulada de instrumentación funcionalmente idéntica a Almaraz (persiste la configuración geométrica inicial de paneles y consolas) y se conserva la plataforma de cálculo. La inversión asociada comporta 85.000 horas-hombre de mano de obra propia y un gasto externo de 85 millones de pesetas, básicamente en instrumentación. El período de indisponibilidad para el adiestramiento se reduce a seis meses.

La segunda fase se realiza en 18 meses (julio 1997- diciembre 1998), y consiste en la duplicación física de la sala de control de Almaraz, obteniéndose como producto final el simulador réplica de esta central; la inversión se eleva a 14.000 horas-hombre y 220 millones de pesetas, logrando una reutilización del 70 % de los 8.500 instrumentos originales. Cabe citar que esta fase del proyecto incorpora una serie de elementos “complementarios” representativos de centrales PWR españolas (Ascó, Vandellós y Zorita) con el objetivo de facilitar el adiestramiento de sus tripulaciones. El período de indisponibilidad durante esta fase es de 4 meses, habiéndose cumplido puntualmente todos los servicios de adiestramiento comprometidos.



► Figura 5. Simulador Gráfico Interactivo. Aplicaciones.

### 5.3. Otras actuaciones

Los requisitos de fidelidad física y funcional que llevan asociados los simuladores réplica de sala de control y gráficos interactivos requieren del adecuado seguimiento de la central de referencia, es decir, de la continua actualización para incorporar en los mismos todos aquellos cambios de diseño que se producen en las centrales. A este fin se establece, ya a principios de los años 90, una sistemática basada en la gestión del control de configuración de los simuladores, iniciándose con el simulador de la central nuclear de Cofrentes, que es el único que en ese momento dispone de una central de referencia en operación comercial y, posteriormente, extendiéndose al resto de plataformas de simulación.

## 6. 2000-2003: Un simulador réplica por central

De lo expuesto hasta aquí se infiere claramente que los medios empleados en la capacitación profesional —en su más amplia acepción— del personal de explotación de las centrales nucleares españolas han sido objeto de atención preferente por parte del sector eléctrico español, incorporando continuamente mejoras tecnológicas (estado del arte) y metodológicas, orientadas a una transferencia cada vez más eficaz de conocimientos, habilidades y actitudes. Los indicadores de seguridad y disponibilidad, estrechamente vinculados al factor humano, que, año tras año, vienen mostrando las centrales españolas, constituyen una prueba elocuente del elevado nivel de profesionalidad de los responsables de su explotación.

Siguiendo con la línea de mejora continua de eficacia, y atendiendo a razones funcionales y logísticas, se decide acometer durante el primer cuatrienio del siglo XXI la construcción de cuatro simuladores réplica adicionales, dotando así a cada central de su propio simulador específico, tanto en la versión réplica (sala de con-



► Figura 6. Sala de control del simulador réplica de la central nuclear Vandellós II.



► Figura 7. Sala de control del simulador réplica de la central nuclear de Trillo.

trol), como en la de gráfico interactivo (SGI). Los datos más significativos se exponen a continuación, por orden cronológico de puesta en servicio.

#### 6.1. Central nuclear Vandellós II

A partir de los modelos matemáticos desarrollados para el SGI en la década anterior se construye un duplicado de la sala de control y la correspondiente interfaz de entrada/salida. Operativo desde enero de 2003, se ubica en el nuevo Centro de Adiestramiento de Tecnatom en el municipio de L'Hospitalet de l'Infant (Tarragona).

#### 6.2. Central nuclear de Ascó

Proceso y ubicación similar al anterior, se encuentra operativo desde julio de 2003.

#### 6.3. Central nuclear de Trillo

Diseño y construcción *ex-novo* entre julio de 1999 y septiembre de

2003; ubicado en el Centro de Adiestramiento de Tecnatom en San Sebastián de los Reyes (Madrid), está operativo desde octubre de 2003. Versiones réplica y SGI.

#### 6.4. Central nuclear Santa María de Garoña

Diseñado a partir de modelos preexistentes de una central de idéntica tecnología, se ubica en las inmediaciones de la central de referencia; impartido el primer curso en noviembre de 2003.

La inversión conjunta en estos cuatro simuladores se eleva a 31 millones de euros, sin incluir infraestructuras, edificio y servicios auxiliares; a destacar el alto porcentaje (~ 80 %) de participación española en estos proyectos, figurando como excepción una serie de instrumentos que ha sido necesario importar para conservar la fidelidad física de la sala de control.

Tabla 2. Evolución de las características funcionales de los simuladores de Tecnatom.

|                   | Configuración inicial<br>Años 1978/79                                                              | Configuración SMR BWR/PWR<br>Año 1991                                                                                                                                                            | Configuración SMR TRILLO<br>Año 2003                                                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo neutrónico | Cinética puntual                                                                                   | Cinética tridimensional<br>(BWR 1450 nodos, PWR 628 nodos)                                                                                                                                       | Cinética tridimensional<br>(2.832 nodos)                                                                                      |
|                   | Calor residual: dos grupos de neutrones diferidos                                                  | Calor residual: once grupos de neutrones diferidos                                                                                                                                               |                                                                                                                               |
|                   | Flujo monofásico o flujo en equilibrio agua/vapor                                                  | Flujo bifásico (no homogéneo, desequilibrio termodinámico)                                                                                                                                       |                                                                                                                               |
|                   | --                                                                                                 | Regímenes de flujo monofásico, burbujeo, anular y estratificación vertical y horizontal                                                                                                          |                                                                                                                               |
| Modelo NSSS       | --                                                                                                 | Modelos realistas de flujo sónico, limitación de flujo en contracorriente, descubrimiento del núcleo, reinundación, reacción metal-agua, separador de vapor, bombas centrífugas, bomba de chorro |                                                                                                                               |
|                   | Transferencia de calor por conducción (coeficientes constantes)                                    | Transferencia de calor por conducción, convección y radiación. Coeficientes de transferencia dependientes de régimen de flujo                                                                    |                                                                                                                               |
|                   | Modelo de 3 ecuaciones (conservación de masa de líquido y vapor y energía total) No incondensables | Modelo de 6+1 ecuaciones (conservación masa, energía y momento para dos fases + conservación de masa de incondensables)                                                                          |                                                                                                                               |
|                   | Concentración homogénea de boro                                                                    | Modelo de transporte de boro                                                                                                                                                                     | Modelo de transporte de boro acoplado a 6+1 ecuaciones termohidráulicas                                                       |
|                   | Concentración homogénea de una especie radiactiva                                                  | Concentración homogénea de una especie radiactiva                                                                                                                                                | Modelo de transporte de 10 especies químicas (radiactivas y no radiactivas)                                                   |
|                   | NSSS PWR: 28 nodos<br>Vasija BWR: 5 nodos                                                          | NSSS PWR: 126 nodos<br>Vasija BWR: 79 nodos                                                                                                                                                      | NSSS Trillo: 526 nodos                                                                                                        |
|                   |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                               |
| Contención        | Modelo simplificado                                                                                | Atmósfera: vapor e incondensables + presencia de spray, estructuras de hormigón y metálicas en un único nodo                                                                                     | Modelo de seis ecuaciones (conservación de masa, energía y momento para líquido y gas) Incluye conservación de incondensables |
|                   |                                                                                                    | Un nodo líquido para cada sumidero / piscina                                                                                                                                                     | 84 nodos                                                                                                                      |
| Modelo BOP        | Una fase                                                                                           | Una fase                                                                                                                                                                                         | Dos fases                                                                                                                     |
|                   | Librerías de macros                                                                                | Model builder texto                                                                                                                                                                              | Model builder gráfico                                                                                                         |
|                   | Estado estacionario: Bernouilli para líquido, gas ideal para gases. Conservación de la energía     | Estado estacionario: Bernouilli para líquido, gas ideal para gases. Conservación de la energía                                                                                                   | Modelo de 6 ecuaciones (conservación masa, energía y momento para dos fases)                                                  |
|                   | Concentración homogénea de una especie radiactiva                                                  | Concentración homogénea de una especie radiactiva                                                                                                                                                | Modelo de transporte de 10 especies químicas (radiactivas y no radiactivas)                                                   |
|                   |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                               |
| Ordenador         | 2 SEL 32/55                                                                                        | CRAY X-MP/14SE + ENCORE 32/67                                                                                                                                                                    | Silicon Graphic ORIGIN 350                                                                                                    |
| Potencia cálculo  | 1,5 MIPS                                                                                           | 200 MIPS + 5 MIPS                                                                                                                                                                                | 4 CPUs aprox. 320 MIPS por CPU                                                                                                |
| Memoria central   | 1 MB                                                                                               | 32 MB + 8MB                                                                                                                                                                                      | 1 GB                                                                                                                          |
| Sistema operativo | RTM                                                                                                | UNICOS + MPX                                                                                                                                                                                     | UNIX                                                                                                                          |



► **Figura 8.** Interfaz entradas/salidas TESIS. (Diseño y fabricación propios).

Mención especial merecen las mejoras introducidas en la interfaz TESIS de entradas/salidas del simulador, que gestiona un tráfico de más de 25.000 señales entre los diversos instrumentos de los paneles y el ordenador central de cálculo, con una frecuencia de hasta 20 veces por segundo. Los nuevos simuladores incorporan esta interfaz, en entorno Windows, que, además de mejoras significativas en las prestaciones respecto al sistema anterior, introduce nuevas funcionalidades encaminadas a la supervisión y diagnóstico automático de fallos que redundan finalmente en una mayor disponibilidad de la instalación.

A modo de resumen se incluye la tabla 2 que muestra la evolución de las características funcionales de los simuladores españoles a lo largo de estos 25 años, seleccionando tres configuraciones que

reflejan, respectivamente, la inicial de 1978, la resultante del proyecto MAS, 1991, y la configuración actual una vez completado el parque de simuladores. En dicha tabla se aprecia cómo la creciente disponibilidad de potencia de cálculo ha ido acompañada de sustanciales mejoras en los modelos matemáticos, lo que ha permitido la simulación fiable de fenómenos termohidráulicos y neutrónicos complejos:

- Inicialmente los esfuerzos se concentran en mejorar la capacidad y precisión de simulación del SNGV, siguiendo una evolución paralela a la de los códigos de ingeniería para análisis de accidentes (serie TRAC, serie RELAP).

- Posteriormente el énfasis se establece en la mejora de los modelos de simulación de MRC y Contención, mediante el empleo de herramientas amigables, *model builders* gráficos, aprovechando el

desarrollo de las interfases hombre-máquina.

## 7. El futuro

A lo largo de esta exposición se ha podido apreciar el progreso ininterrumpido de la tecnología de simulación aplicada a los procesos de generación nucleoelectrónica, habiéndose alcanzado un elevado grado de precisión en los modelos, y por ende en la predecibilidad de los mismos, lo cual comporta excelentes índices de calidad en las funciones de adiestramiento y credibilidad suficiente para el análisis y optimización de procesos.

La proyección de futuro contempla actuaciones, sistemáticas u ocasionales, en los campos siguientes:

- La actualización sistemática de la configuración de simulación, en base a las modificaciones que introduzca la central de referencia, con objeto de conservar la fidelidad física y funcional.

- El incremento de precisión en los modelos matemáticos (por ejemplo, cinética de neutrones), con objeto de ampliar las fronteras de simulación a escenarios de complejidad creciente.

- Las aplicaciones de apoyo a la ingeniería a modo de banco de pruebas y validación de potenciales cambios de diseño antes de su incorporación a la central.

Para concluir esta exposición resumida de la historia de los simuladores nada mejor que recurrir a un eminente científico, Premio Nobel de Física en 1965, que apostilla lo expresado por Galileo cuatro siglos atrás, ponderando el relevante papel de las matemáticas en la interpretación de los fenómenos físicos.

*Las matemáticas constituyen un lenguaje más razonamiento; son un lenguaje más lógica, un instrumento para razonar. No es posible disfrutar la belleza de las leyes de la naturaleza sin un conocimiento profundo de las matemáticas.*

*Richard P. Feynman (El Carácter de la Ley Física). Ⓢ*

 Pedro Fernández Letón y Alfonso López Fernández\*

# Situación actual de los procedimientos y la tecnología en Radioterapia

La lucha contra el cáncer cuenta actualmente con tres armas: la radioterapia, la cirugía y la quimioterapia. En la actualidad, la radioterapia incorpora unas características ventajosas para el tratamiento

de determinados tipos de cáncer, ya que ha experimentado un enorme desarrollo tecnológico al adecuar, cada vez más, la precisión y la distribución de dosis al volumen del tumor.

## 1. Introducción

La radioterapia es, junto con la cirugía y la quimioterapia, una de las tres armas terapéuticas principales en la lucha contra el cáncer. Actualmente casi la mitad de los pacientes diagnosticados de tumores malignos son sometidos a un tratamiento radioterápico, solo o en combinación con un tratamiento de otro tipo. Las características específicas de la radioterapia, que la hacen ventajosa para determinados tipos de cáncer, son dos: en primer lugar, el hecho de que la mayoría de los tumores son menos resistentes a la radiación que los tejidos sanos, debido a su elevada tasa de multiplicación celular; en segundo lugar, su localización: las técnicas modernas permiten concentrar la dosis en las zonas en las que existe tumor, evitando los tejidos circundantes. Hay que tener presente que las dosis administradas son muy elevadas, de hasta 70-80 Gy, y, por lo tanto, pueden producir efectos graves sobre los

órganos sanos. El enorme desarrollo tecnológico que ha experimentado la radioterapia en las últimas décadas ha venido guiado precisamente por el objetivo de adecuar cada vez con más precisión la distribución de dosis al volumen del tumor. Ello ha permitido aumentar la dosis que puede ser suministrada sin producir demasiados efectos secundarios adversos, elevando la probabilidad de control del crecimiento del tumor.

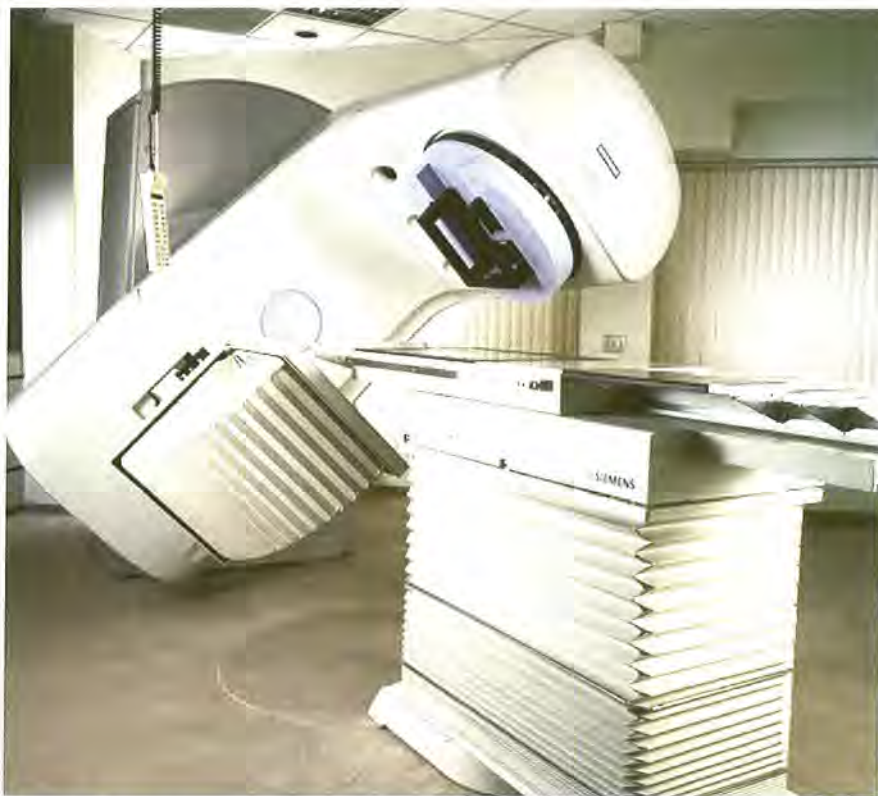
## 2. Etapas del proceso radioterápico

Hoy en día el primer paso de un tratamiento radioterápico consiste en la realización de un TAC al paciente, con objeto de determinar cuáles son los volúmenes que deben ser irradiados. Es imprescindible que durante el TAC la postura del paciente sea la misma que la que tendrá durante el tratamiento, para que la posición relativa de todos los órganos sea la misma. Según cual sea la zona a tratar se pueden emplear distintos dispositivos de apoyo y fijación, que ayudarán a reproducir la posición

durante las sesiones de irradiación. Sobre estos dispositivos, o sobre la propia piel del paciente, se graban marcas de referencia que constituirán el origen de coordenadas anatómico respecto del cual se determinará el punto de entrada y la orientación de los haces de radiación.

El TAC proporciona una imagen tridimensional del paciente, con todos los detalles de su anatomía interna. Sobre esta imagen el oncólogo radioterapeuta dibuja los volúmenes ocupados por el tumor y las regiones hacia las que es probable que haya existido diseminación de células cancerígenas, tales como los ganglios linfáticos. Para identificar estas zonas el médico utiliza, además de las propias imágenes del TAC, los datos procedentes de los estudios diagnósticos previos. Se han desarrollado herramientas informáticas que permiten fusionar imágenes obtenidas con distintas modalidades de imagen (por ejemplo, TAC y resonancia magnética nuclear, o TAC y PET), de forma que los dos conjuntos de imágenes se superpongan espacial-

\*Pedro Fernández Letón, Alfonso López Fernández. Servicio de Oncología Radioterápica, Hospital 12 de Octubre Madrid



► **Figura 1.** Acelerador lineal de electrones.

mente; esto permite trasladar al TAC de forma precisa la información obtenida con otros medios. De esta forma se define el volumen tumoral macroscópico (*Gross Tumor Volume*). Este volumen es expandido con un cierto margen que tiene en cuenta el posible desplazamiento del tumor durante el tratamiento, debido tanto a los movimientos fisiológicos del paciente como a los errores de posicionamiento que pueden producirse. Al volumen obtenido se le denomina volumen blanco de planificación, o PTV, (*Planning Tumor Volume* en inglés), y representa la zona que debe ser irradiada con la dosis determinada por el radioterapeuta. Sobre el TAC se delinearán también los órganos críticos para los que es importante conocer la dosis que recibirán, bien por su proximidad al tumor, o bien por su especial radiosensibilidad.

La siguiente fase del tratamiento se denomina planificación, y es responsabilidad del radiofísico. Su objetivo es conseguir una distribución de haces de radiación con las orientaciones y los puntos de entrada adecuados para obtener

una distribución de dosis homogénea en el volumen blanco de planificación, evitando tanto las zonas sobredosificadas en las que pueden producirse necrosis como las zonas subdosificadas en las que la destrucción de células tumorales podría no ser completa; y limitando al mínimo posible la irradiación de los tejidos sanos circundantes, permaneciendo en todo caso por debajo del umbral de producción de efectos secundarios graves. Una vez elegida la configuración de los haces, el radiofísico realiza un cálculo detallado de la distribución de dosis, y valora si ésta cumple los requisitos de homogeneidad y limitación de dosis en órganos críticos especificados por el radioterapeuta; si no es así, modifica la configuración. La evaluación de la distribución de dosis se realiza mediante distintos métodos: representación de curvas de isodosis superpuestas a las imágenes del TAC, histogramas dosis-volumen para los órganos estudiados, cálculo de probabilidades de control tumoral aplicando modelos radiobiológicos, etc. La optimización del tratamiento se obtiene cuando

se consiguen altos gradientes de dosis en el borde del PTV y una elevada homogeneidad dentro de él; se considera adecuado un rango de variación de entre el 95% y el 107% de la dosis prescrita al PTV.

El tratamiento en sí suele constar de sesiones diarias, entre diez y cuarenta, en cada una de las cuales se administra una dosis de alrededor de 2 Gy. El motivo de este fraccionamiento de la dosis está en que permite una regeneración de los tejidos sanos entre sesiones, disminuyendo los efectos adversos, sin perder demasiada eficacia en el control del tumor. En la primera sesión se suele realizar una verificación detallada de la posición del paciente mediante radiografías realizadas con la propia radiación del acelerador (fotografías), que luego se repiten periódicamente. Estas fotografías se comparan con radiografías reconstruidas digitalmente (RRD) obtenidas durante la planificación, que muestran la forma de cada haz y su posición relativa a los órganos y huesos. Durante todo el tratamiento el radioterapeuta revisa el estado general del paciente y su respuesta a la radiación, pudiendo interrumpirlo si aparecen efectos secundarios graves.

Como ya se ha destacado, la precisión en la administración de la dosis es el objetivo principal del desarrollo de la radioterapia moderna. A continuación discutiremos en detalle los factores que, a nuestro juicio, son más importantes para conseguirlo, y en consecuencia, concentran actualmente los esfuerzos de investigación.

### 3. Posicionamiento e inmovilización

Desde el inicio de la actividad en radioterapia uno de los principales objetivos ha sido conseguir un adecuado sistema de inmovilización para la irradiación de los pacientes. De él va a depender el movimiento del tumor durante la irradiación y, en consecuencia, determinará la magnitud de la expansión desde el

Volumen Tumoral (GTV) al Volumen Blanco (PTV); con peor inmovilización, para irradiar el mismo tumor es necesario un mayor margen, lo que implica un aumento del volumen de tejido sano irradiado, y en consecuencia un probable aumento de las complicaciones. En la actualidad, se emplean de forma sistemática en los servicios de radioterapia las máscaras termoplásticas en cabeza, cuello y cuerpo, y los colchones de vacío y las espumas rígidas para abdomen, pelvis y extremidades.

Con las máscaras termoplásticas se consigue en cabeza y cuello que el margen de expansión del tumor desde el GTV al PTV sea de entre 3 y 8 mm. En irradiaciones de la cabeza existe un sistema de inmovilización y posicionamiento de alta precisión que emplea guías estereotáxicas, desarrolladas inicialmente para las aplicaciones de radiocirugía. Si se emplean guías recolocables, como por ejemplo la guía de Gill-Thomas, la expansión del GTV al PTV es sólo de 2 mm. Como ejemplo del efecto de esta reducción de márgenes, si irradiamos una masa tumoral esférica de 4 cm. de diámetro al expandir el

volumen para un tratamiento con la máscara termoplástica el PTV ocuparía 92 cm<sup>3</sup>, mientras que si la inmovilización se realizase con la guía estereotáxica sería de 45 cm<sup>3</sup>; es decir, que el volumen a irradiar se reduciría en más de un 50%. Si se utilizan guías fijas con tornillos de sujeción al cráneo como las empleadas en la radiocirugía de sesión única el margen se puede reducir aún más, hasta 1 mm.

Para el abdomen, en donde se irradian mamas, esófago, estómago, hígado y pulmones, se acepta que un margen de 1 cm es adecuado entre GTV y PTV utilizando los sistemas de inmovilización anteriormente indicados. En estas localizaciones la respiración del paciente va a ser un factor de gran importancia en el movimiento de los órganos.

En pelvis, en donde se irradian fundamentalmente tumores ginecológicos, de próstata, de vejiga y de recto, los niveles de expansión pueden variar, según los diferentes autores entre 5 y 10 mm. Aquí son importantes las variaciones de posición entre sesiones debidas a las diferencias fisiológicas, tales como el estado de llenado de la

vejiga o la presencia de heces o gases en el intestino grueso.

#### 4. Toma de datos del paciente

Es de vital importancia poder contar con un TAC helicoidal para la planificación del tratamiento que cuente con un sistema de alineación externo e independiente del TAC con una precisión del orden de 1 mm. La importancia de que sea helicoidal es debida a que el tiempo de adquisición de imágenes se disminuye de forma importante y por tanto la inmovilización del paciente será mayor.

#### 5. Programas de cálculo dosimétrico

El cálculo de la distribución de dosis producida dentro del paciente por una determinada configuración de haces de radiación constituye uno de los problemas fundamentales de la radioterapia. De acuerdo con los datos clínicos, diferencias del 10% entre la dosis real y la prescrita tienen efectos observables sobre la probabilidad de curación, así que el nivel de precisión exigible a los programas que se emplean para realizar las dosimetrías clínicas es del 3-5%. Esta precisión es difícil de conseguir en todos los puntos del paciente, debido a la complejidad de la radiación producida por los aceleradores, y al efecto de las heterogeneidades existentes (tejidos más densos, como el hueso, o poco densos, como el pulmón).

Los modelos usados por los primeros programas de dosimetría eran esencialmente interpolaciones de medidas experimentales realizadas en maniqués homogéneos. Posteriormente se han desarrollado algoritmos de cálculo fundamentados en modelos físicos de la propagación de la radiación, basados generalmente en la separación de la radiación primaria procedente del acelerador y la radiación secundaria originada dentro del paciente. La radiación primaria se determina a partir de medidas detalladas de

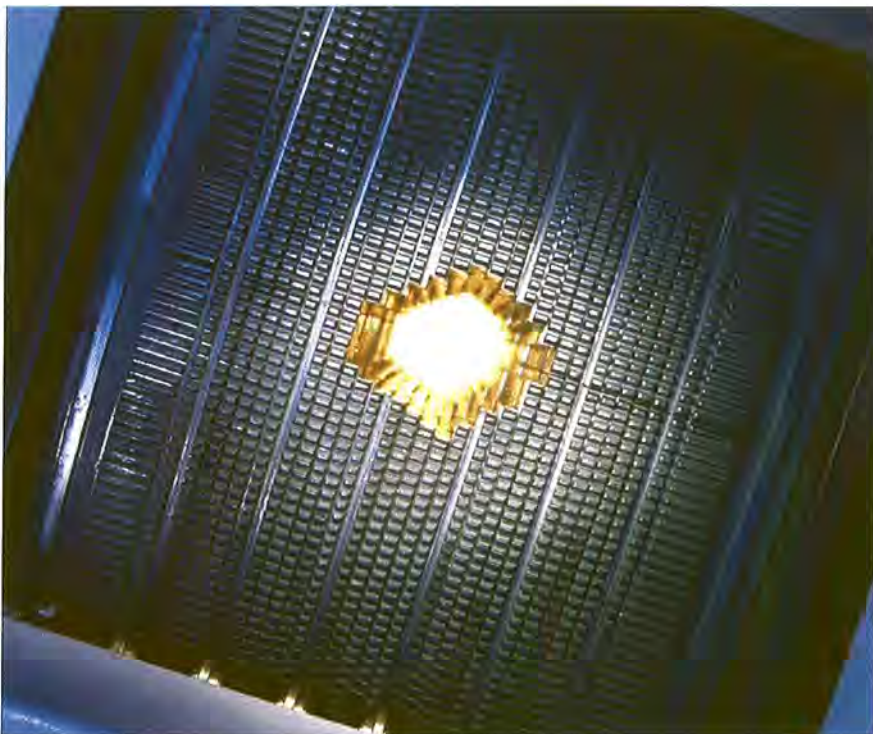


Figura 2. Colimador multihojas.

los haces en aire y en agua que proporcionan información sobre el espectro de energía y la distribución espacial; en general se considera que estas medidas deben realizarse para cada acelerador individual, dado que pueden existir diferencias significativas incluso entre equipos de un mismo modelo. Para describir la segunda se suele partir de alguna parametrización de la función que describe la propagación de radiación secundaria desde un punto dado, y realizar una convolución de dicha función con la probabilidad de interacción de la radiación primaria en cada punto. Si se toma en cuenta el efecto de las heterogeneidades existentes dentro del paciente el problema se complica mucho, y es necesario en la práctica recurrir a distintas aproximaciones.

En los últimos años han comenzado a aplicarse en radioterapia programas de transporte de la radiación basados en las técnicas de simulación por Monte Carlo, tales como EGS, PENELOPE o GEANT. Para ello ha sido necesario desarrollar previamente programas que simulen el proceso de producción de radiación en los aceleradores, capaces de ajustarse a cada modelo de acelerador. En el futuro serán probablemente la base de todos los cálculos dosimétricos, pero hoy en día los tiempos de computación resultan aún demasiado largos para su aplicación práctica rutinaria, y se emplean sobre todo como herramienta de investigación y para el ajuste de modelos.

## 6. Radioterapia Conformada Tridimensional

El desarrollo de los programas de planificación ha proporcionado una gran flexibilidad en la elección de la configuración de los haces de radiación, haciendo posible realizar de forma sistemática tratamientos con múltiples ángulos de entrada. Además, la aparición de herramientas como la "vista desde el ojo del haz (*Beam's Eye View*)" ha facilitado mucho la conformación de los

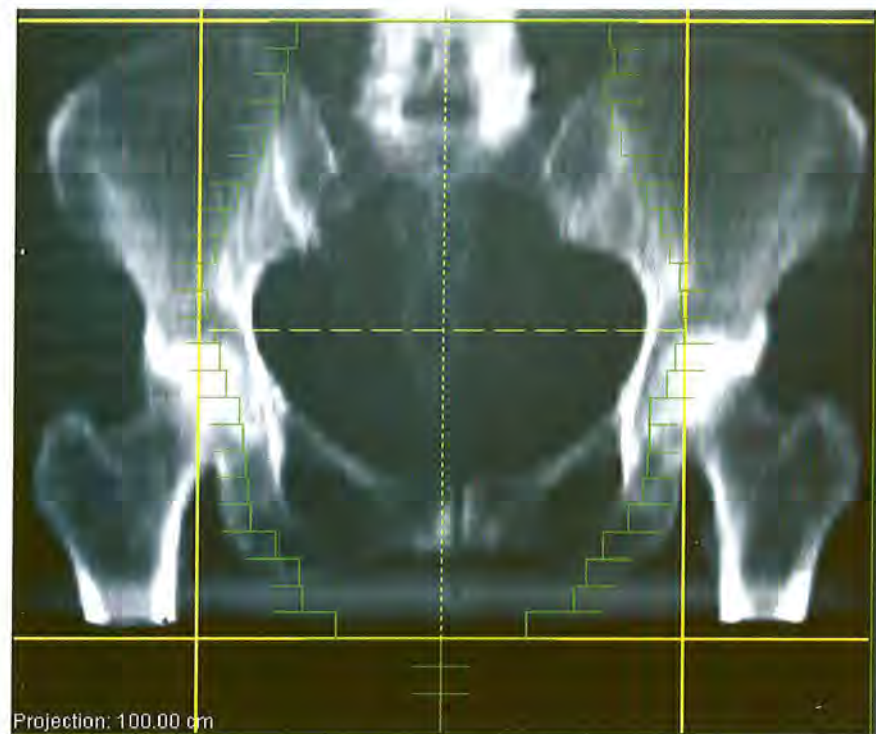


Figura 3. RDD de un tratamiento en zona de pelvis de un campo de tratamiento antero-posterior.

haces, es decir, la adecuación de su sección transversal a la forma del PTV. Combinando estas dos mejoras se ha conseguido que la isodosis de prescripción se ajuste bastante bien a la forma tridimensional del PTV, con una rápida caída al alejarse de éste. Esta técnica, denominada generalmente Radioterapia Conformada Tridimensional, ha producido una importante disminución de las complicaciones secundarias; esto ha permitido aumentar la dosis en algunas localizaciones, con la consiguiente mejora del control tumoral.

Hasta hace algunos años los colimadores de los aceleradores sólo permitían seleccionar campos de irradiación rectangulares, y la conformación se efectuaba interponiendo en la trayectoria del haz bloques de aleación de alta densidad y bajo punto de fusión, moldeados de acuerdo a la forma obtenida en la planificación mediante un proceso bastante laborioso. En la última década han aparecido aceleradores equipados con colimadores multiláminas, formados por varias decenas de láminas metálicas con secciones que van desde 3 mm

hasta 1 cm, que se mueven de forma independiente. Así es posible obtener fácilmente cualquier forma irregular deseada, programando adecuadamente la posición de cada lámina.

## 7. Radiocirugía y radioterapia estereotáxica fraccionada

La radiocirugía se emplea para tratar lesiones del cerebro, tanto tumorales como no tumorales, de pequeño tamaño. Utiliza una guía estereotáxica que se fija a la cabeza del paciente mediante cuatro tornillos; esta guía es visible en las imágenes de TAC y a partir de ella se puede establecer un origen de coordenadas con gran precisión, del orden de 1 mm o mejor. El TAC, la planificación y el tratamiento se realizan en un solo día, y la guía permanece fija durante todo el proceso. La dosis que se administra es de alrededor de 15 Gy. La irradiación se produce mediante haces no coplanares de sección circular, que se mueven describiendo un arco durante la irradiación; con ello se consigue un gradiente de dosis

muy elevado fuera del volumen de irradiación.

Concentrar la administración de dosis en un único día reduce los problemas de posicionamiento del paciente pero crea problemas de tolerancia en los tejidos sanos; ya se ha explicado que la experiencia clínica ha demostrado que es preferible repartir la dosis en fracciones diarias de 2 Gy, cinco días por semana. Es por ello que en tumores cerebrales benignos, como meningiomas o neurinomas, se emplee la radioterapia estereotáxica fraccionada que utiliza el mismo equipamiento que la radiocirugía pero empleando guías recolocables. Estas guías incluyen moldes que se adaptan a la dentadura, el oído o el puente nasal del paciente, y permiten un reposicionamiento diario con una precisión de 2 mm. Las técnicas de irradiación son similares a las de Radiocirugía, aunque cuando las lesiones son muy irregulares se pueden emplear micro-multiláminas para definir campos no circulares.

## 8. Radioterapia con Modulación de Intensidad

En los años ochenta se planteó por primera vez, de forma puramente teórica, un método para obtener distribuciones de dosis en las que la isodosis de prescripción se ajustara de forma exacta al volumen blanco utilizando haces de radiación no homogéneos. La posibilidad de llevar a la práctica esta idea llegó con el desarrollo de los colimadores multiláminas mencionados anteriormente. La inhomogeneidad se puede obtener dividiendo el haz en muchos segmentos de forma irregular, y entregando una dosis distinta con cada uno de ellos; o bien, desplazando las láminas durante la irradiación, de forma que algunas partes del campo estén apantalladas una parte del tiempo. Esta técnica, denominada radioterapia con modulación de intensidad o IMRT, de sus siglas en inglés (*Intensity Modulated Radiotherapy*), ha supuesto una



Figura 4. Tratamiento de cáncer de próstata con: 1. Un tratamiento en 2D, 2. Conformada 3D y 3. IMRT. En rojo, el PTV; en morado el recto, órgano limitante en este caso.

revolución en la manera de realizar las planificaciones. Hasta ahora la conformación de los campos se diseñaba a mano y el radiofísico optimizaba los ángulos y las dosis mediante prueba y error; esto se ha sustituido por la “planificación inversa”, en la que los requisitos clínicos de la dosimetría (límites mínimo y máximo de dosis en el volumen blanco, dosis máxima en los órganos de riesgo) se introducen en un programa informático que se ocupa de calcular la forma y el peso de los campos necesarios para conseguirlos. El diseño de algoritmos rápidos y robustos para realizar esta tarea es hoy en día un campo muy activo de investigación.

La complejidad de esta técnica supone importantes retos a los radiofísicos. En primer lugar, dado que la dosis total se obtiene como suma de muchas contribuciones pequeñas, hay varios efectos normalmente despreciables que cobran importancia, tales como la filtración de radiación entre las láminas del colimador o la radiación dispersada en los bordes del campo. Esto obliga a realizar una verificación previa de cada trata-

miento mediante la medida de la distribución de dosis producida en un maniquí, comparando los resultados con las predicciones del programa de cálculo. Además, los requisitos de tolerancia en el posicionamiento y la velocidad de las láminas, o en la estabilidad de la tasa de dosis del acelerador, son más severos, lo que implica un mayor esfuerzo de control de calidad para asegurar la reproducibilidad del tratamiento a lo largo de todas las sesiones. Por último, una mayor conformación exige una mejor reproducibilidad de la posición del paciente: si éste se coloca mal se corre un riesgo mayor de dejar subdosificada una parte del volumen blanco.

## 9. Verificación del tratamiento

Los aceleradores cuentan en la actualidad con sistemas de imagen portal que registran la forma de los haces durante la irradiación, de forma similar a la fluoroscopia en radiodiagnóstico. Para ello disponen de una pantalla que gira solidariamente con el brazo de la unidad. Estas pantallas han ido evolucionando desde un sistema convencio-

nal con tubo de imagen hasta las pantallas de silicio amorfo empleadas actualmente, que han permitido aumentar la calidad de imagen de forma significativa. Las imágenes pueden ser adquiridas en cualquier instante del tratamiento. Otro de los grandes beneficios del desarrollo de este tipo de pantallas es que permiten medir la distribución de dosis, con un método similar al de la placa fotográfica, aunque más rápido. Sin duda cuando se emplea IMRT reduce de forma importante los tiempos destinados al control de calidad de los haces.

Las imágenes obtenidas son enviadas a un sistema integrado de imagen adonde se han enviado anteriormente las RRD desde el sistema de planificación. El sistema cuenta con un *software* que permite comparar imágenes mediante referencias y estimar la diferencia entre la planificación del tratamiento y la irradiación. Cada centro en función de su grado de desarrollo y de las características del paciente y de la localización de la irradiación determina los niveles de acción para determinar si se procede al tratamiento o se corrige la posición.

## 10. Los desarrollos del futuro inmediato

En la actualidad los esfuerzos en la mejora de la precisión de la radioterapia se enmarcan en dos grandes líneas: por una parte la introducción de nuevas unidades de radiación (tomoterapia, aceleradores de protones e iones ligeros) y por otra la implementación de sistemas en los que el acelerador sólo produzca irradiación cuando el paciente esté en una posición determinada, de forma que se reduzca el efecto del movimiento de los órganos internos.

### 10.1. Unidades de tratamiento

Destacaremos las unidades que se están empleando en este momento en el mundo en centros de gran especialización. Entre ellas incluiremos:

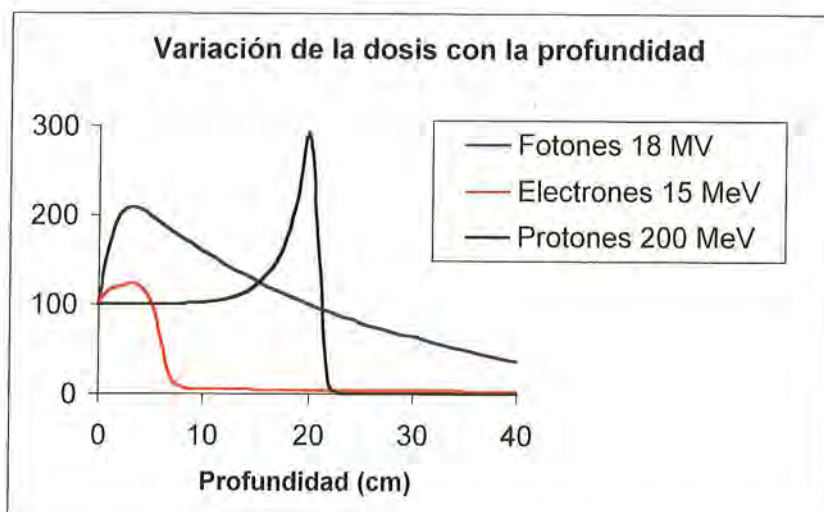


Figura 5. Curvas de rendimiento en profundidad para haces de: fotones 18MV, electrones 15MeV y protones de 200 MeV.

#### 10.1.1. Tomoterapia

Son equipos especializados para tratamientos de IMRT que emplean una técnica análoga a la utilizada en el TAC. Un haz con unas dimensiones de 2x20 cm<sup>2</sup> es colimado en función del PTV a irradiar; se realiza una irradiación en arco abriendo o cerrando el haz según el PTV. Después de realizado un arco se produce un movimiento longitudinal de la mesa, y así sucesivamente hasta completar todo el volumen de tratamiento. La tomoterapia helicoidal se está empleando ya en la actualidad y se diferencia de la anterior en que la mesa se mueve al mismo tiempo que se produce la radiación.

Se monta sobre un sistema como el TAC convencional y van equipados para realizar la colocación del paciente mediante el TAC. Una de las claves de este tipo de tratamiento radica en el control del movimiento de la mesa: un error de 1 mm puede representar un error de entre un 10-20% en la dosis.

#### 10.1.2. Aceleradores de protones y partículas ligeras

Se sabe desde hace años que, por la forma de la curva de variación de la dosis en función de la profundidad, la irradiación con protones o núcleos ligeros es en princi-

pio más adecuada para la radioterapia que la de los fotones. El máximo de dosis, asociado al pico de Bragg, se encuentra a una profundidad mucho mayor, lo que permite obtener una buena conformación con un menor número de haces. También tienen penumbras menores, debido a su mayor masa. Sin embargo, las energías necesarias son mucho más altas: del orden de 200 MeV, frente a los 10 MeV empleados en los fotones. Esto hace que los aceleradores y los sistemas de colimación y orientación del haz sean mucho más complicados y costosos. Por ello, sólo hay unos pocos centros en el mundo que realizan esta técnica como sistema práctico de tratamiento. Recientemente se ha dado un nuevo impulso a esta técnica tras algunos estudios que muestran que la mayor efectividad biológica de la irradiación con núcleos ligeros puede permitir el tratamiento de algunos tumores para los que hoy en día no existe una terapia eficaz.

#### 10.1.3. Radioterapia 4D

Se denomina así a la técnica que tiene en cuenta los movimientos respiratorios durante el proceso de adquisición de imágenes, planificación del tratamiento e irradiación del paciente. Requiere unas imágenes

de TAC en 4D que tengan en cuenta en los órganos internos los movimientos de los mismos como una función del ciclo respiratorio.

Este tipo de tratamiento se ha desarrollado para tratamientos de abdomen en donde el movimiento respiratorio va a influir de forma significativa en aumentar el tamaño del PTV. El paciente es monitorizado con un sistema que permita evaluar su ciclo respiratorio y este proporciona un seguimiento externo del movimiento respiratorio.

Cuando el paciente va a ser irradiado se le monitoriza con el sistema de seguimiento de respiración y el acelerador estará sincronizado con el sistema de respiración de tal manera que sólo irradie en la fase seleccionada con los movimientos respiratorios del paciente. Con este tipo de técnicas se reducen la expansión entre GTV y PTV en la dirección cabeza-pies desde 1.1 cm hasta 0.8 cm.

Otro sistema empleado consiste en tres marcadores internos, generalmente esferas de oro de 2 mm de diámetro, que son implantadas en las proximidades del tumor. En el momento de la adquisición de las imágenes del TAC van a formar respecto del centro de masas del tumor una referencia que debe ser repetida a lo largo de las diferentes sesiones del tratamiento. Por otra parte, si estas marcas se mueven conjuntamente al tumor durante un ciclo respiratorio éste debe ser evaluado a lo largo del ciclo respirato-

rio; para ello se emplea un sistema de seguimiento del tumor en tiempo real constituido por un sistema de fluoroscopia con varios tubos que permiten valorar, cada vez que el paciente va a recibir tratamiento, si está en la posición de adquisición de imágenes y por tanto de planificación. Si no lo está se corregirá la posición hasta que sea la misma, con el nivel de acción señalado para la prueba. Una vez en la posición de planificación se adquirirán las imágenes para determinar el ciclo respiratorio de tal manera que se sincronice el ciclo de movimientos de los tres marcadores con el acelerador, de forma que éste solamente irradie cuando los marcadores estén en la posición correcta.

Las coordenadas de los marcadores son detectadas con una precisión de  $\pm 1$  mm y el tiempo entre el reconocimiento de las posiciones de las marcas y el principio y la parada de la irradiación es de sólo 0.03s.

## 11. Conclusiones

La radioterapia es una actividad multidisciplinar que en el momento actual ha alcanzado un alto grado de precisión, lo que ha permitido aumentar la dosis impartida, mejorando las probabilidades de curación sin incrementar los niveles de complicaciones en los tejidos sanos próximos.

La radiocirugía y la radioterapia estereotáxica fraccionada im-

plantadas hace más de una década en el tratamiento de lesiones del cerebro han conseguido niveles de gran precisión en la colocación del paciente en tratamiento, del orden de 2 mm para la radioterapia estereotáxica fraccionada, y con altos gradientes de dosis alrededor de los volúmenes que deseamos tratar.

La implantación de la radioterapia conformada 3D en otras localizaciones ha supuesto un aumento de la precisión en el cálculo de la dosis con un elevado índice de conformidad alrededor del volumen de irradiación. Sin embargo, en volúmenes cóncavos o convexos o excesivamente irregulares es necesario implantar la modulación de intensidad que permite, mediante la multisegmentación de campos de tratamiento, obtener mejores niveles de homogeneidad de dosis en el interior de los volúmenes junto con unos índices de conformidad superiores a la 3D.

En cabeza y cuello las guías estereotáxicas han demostrado su precisión; en otras localizaciones donde la posición del tumor en el tiempo es función de la respiración del paciente se han implantado sistemas de adquisición, planificación e irradiación del paciente que tienen en cuenta este problema. Para ello los aceleradores disponen de sistemas que sólo irradian en determinadas posiciones del ciclo respiratorio. 

## Bibliografía

- *Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest. Intensity modulated radiation therapy collaborate working group.* Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2001; V 51.
- Gill, Thomas, *Relocatable frame for stereotatic external beam radiotherapy.* Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1991.
- *Improved methods for determination of variability in patient positioning for radiation therapy using simulation and serial portal film measurement.* Rosenthal y col. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1993; V 23.
- *Accuracy of radiation field alignment in clinical practice.* Rabinowitz col. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1985; V 11.
- *Four-dimensional treatment planning and fluoroscopic real-time tumor tracking radiotherapy for moving tumor.* Shirato H. col, Int J Radiat Oncol Biol Phys 2000; sep 1; V 48.
- *Real-time tumor-tracking radiation therapy for lung carcinoma by the aid of insertion of a gold marker using.* Harada T. Cancer 2002 Oct 15.
- *Feasibility of insertion/implantation of 2.0mm diameter gold internal fiducial markers for precise setup and real-time tumor tracking in radiotherapy.* Shirato H. col. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2003; may 1; V 56.
- *Physical aspects of a real-time tumor tracking system for gated radiotherapy.* Shirato H. col, Int J Radiat Oncol Biol Phys 2000; Nov 1; V 56.

 Antonio Morales Plaza\*

# La Constitución Europea

La *Convención sobre el futuro de Europa*, constituida tras el Consejo Europeo de Laeken en diciembre de 2001 ha hecho entrega al Consejo Europeo del proyecto completo de un Tratado para la creación de una

Constitución para Europa en su misión de desarrollar una Unión Europea tanto económica como política, definiendo sus competencias concretas y el papel de los diferentes parlamentos nacionales en la misma.

Con el objetivo de avanzar en el desarrollo de una Unión Europea como unidad económica, monetaria y política, el pasado día 18 de julio de 2003, el presidente de la *Convención sobre el futuro de Europa*, Valéry Giscard d'Estaing, ha hecho la entrega oficial a la Presidencia italiana del Consejo Europeo del proyecto completo de un Tratado por el que se instituye una Constitución para Europa.

La *Convención sobre el futuro de Europa* se constituyó tras la Declaración adoptada en el Consejo Europeo de Laeken, de 15 de diciembre de 2001, donde se recordaba las expectativas del ciudadano europeo, que deseaba un enfoque comunitario claro, transparente, eficaz y conducido democráticamente. La *Declaración de Laeken* subrayaba la necesidad de un mejor reparto y definición de las competencias de la UE y se interrogaba sobre el papel que

podrían desempeñar en ella los parlamentos nacionales.

En este sentido, hay que señalar que de Constitución se habla tanto en sentido descriptivo como prescriptivo.

En sentido descriptivo, la Constitución designa la organización política propia de una determinada comunidad y es, por consiguiente, un concepto politológico o sociológico. También designa, como concepto estrictamente jurídico, la regla fundamental de cualquier ordenamiento, es decir, la regla que instituye un sistema normativo, de la cual deriva la validez de todas las demás normas del mismo.

En sentido prescriptivo, no se trata de cualquier organización política o cualquier regla fundamental, sino únicamente de aquellas que encarnan y salvaguardan ciertos valores. La Constitución debe ser una nomocracia o limitación jurídica del poder como medio para garantizar la libertad política, y sus instrumentos técnicos han de ser la tutela de los dere-

chos fundamentales y la división de poderes.

En la acepción formal del concepto, Lucas Verdú define la Constitución como: "un conjunto normativo institucional básico, en general difícilmente reformable, regulador de la organización y ejercicio del poder del Estado y garantizador de los derechos y libertades de los individuos y sus grupos".

Podemos decir que el resultado de la *Convención sobre el futuro de Europa* queda reflejado en la fusión y reorganización de los Tratados existentes en forma de un proyecto de Constitución que dota a la Unión Europea de una única personalidad jurídica (art. 6) y donde se define a una Europa abierta y solidaria, diversa cultural y lingüísticamente, que protege, al hacer vinculante la *Carta de Derechos Humanos*, los derechos de sus ciudadanos.

Sintéticamente, tres son las novedades a resaltar:

1. La Convención ha supuesto una importante mejora de la natura-

\*Antonio Morales Plaza es el secretario general del Consejo de Seguridad Nuclear y abogado del Estado.



● **Figura 1.** Los firmantes del proyecto para un Tratado de Constitución Europea: el presidente de la *Convención sobre el futuro de Europa*, Valery Giscard d'Estaing, acompañado por los dos vicepresidentes Giuliano Amato (izquierda) y Jean Luc Dehaene (derecha).

leza democrática de la Unión. La Constitución extiende el papel del Parlamento Europeo, al duplicar el ámbito de la legislación por codecisión, que pasa a ser el procedimiento legislativo normal.

Casi todas las políticas de la Unión serán decididas por mayoría cualificada de los estados, con el necesario consenso y las enmiendas del Parlamento Europeo.

Esta mayor incidencia del Parlamento supone, no sólo que decisiones en materias tan centrales como la política agrícola común, los fondos regionales, la inmigración y el control de fronteras, y la colaboración judicial y policial, tendrán que ser aprobados conjuntamente por el Consejo y el Parlamento, sino que además, la Cámara va a co-decidir sobre el presupuesto y las futuras reglas financieras que se adopten.

Paralelamente, habrá un menor peso de la Comisión, cuyo presidente adquiere una legitimidad de los dos órganos co-legisladores, pues será elegido por el Consejo y aprobado por mayoría del Parlamento.

Se han concebido nuevos mecanismos con el fin de garantizar

un mejor flujo de información hacia los parlamentos nacionales y su participación en los trabajos de la Unión. Las competencias de la Unión se han aclarado, clasificado y afianzado, y su repertorio de instrumentos jurídicos se ha reducido a favor de una mejor comprensión por parte del público, de una mayor eficiencia de la acción y de una clara distinción entre el papel de la Unión y el de los estados miembros.

Asimismo, la Constitución propuesta impone a las instituciones la obligación de adoptar normas sobre transparencia.

2. La Constitución incorpora, como su Parte II, la *Carta de los Derechos Fundamentales*, proclamada en el Consejo Europeo de Niza, concretando en “deberes puntuales” la anterior sucesión de “valores abstractos”.

“La Unión se fundamenta en el respeto a la dignidad humana, la libertad, la democracia, la igualdad, el Estado de Derecho y el respeto a los Derechos Humanos”, valores de “una sociedad caracterizada por el pluralismo, la tolerancia, la justicia, la solidaridad, y la no discriminación”, reza el

texto constitucional. Esta retórica declaración de intenciones sería intrascendente de no ser por el artículo 58, según el cual “se suspenderá a los estados miembros en caso de grave riesgo de violación” de estos valores. De este modo queda asegurado su futuro cumplimiento, puesto que crea la posibilidad de que cualquier ciudadano europeo pueda recurrir ante los tribunales ordinarios la violación de sus derechos reconocidos en la Carta.

3. La Constitución introduce la iniciativa legislativa de los ciudadanos ante la Comisión Europea, institucionalizando el principio de democracia participativa.

Efectivamente, el artículo 46.4, denominado “Principio de democracia participativa”, recoge la posibilidad de que un número significativo de ciudadanos -que no será inferior a un millón- procedentes de un número determinado de estados miembros podrán pedir a la Comisión que presente una propuesta adecuada cuando los ciudadanos estimen que se requiere un acto jurídico de la Unión a efectos de la aplicación de la Constitución. En este sentido, la introducción del derecho de iniciativa de los ciudadanos de la UE representa un importante y real primer paso de la democracia directa a nivel europeo.

En la misma reunión de la Convención, donde se introdujo este precepto, se presentó una resolución de casi 100 miembros de la Convención, proponiendo un referéndum constitucional al mismo tiempo que las próximas elecciones parlamentarias europeas en junio de 2004. Según reza dicha resolución:

“Proponemos que la Convención recomiende a la Conferencia Intergubernamental que el borrador de la Constitución Europea sea aprobado no sólo por los parlamentos nacionales y el Parlamento Europeo sino también por los ciudadanos de Europa en referéndums vinculantes. Estos refe-

réndums, deberían tener lugar según las previsiones constitucionales de los estados miembros. Deberían ser convocados simultáneamente el mismo día, una opción sería el mismo día de las elecciones parlamentarias europeas en junio de 2004. Aquellos estados miembros cuyas constituciones no permitan actualmente los referéndum serían motivados para mantener al menos referéndums consultivos. Una campaña de información debería ser públicamente financiada”.

El referéndum no será sólo un acto de legalidad democrática, sino también una importante herramienta para dar a conocer a los ciudadanos el texto de la Constitución, aunque lógicamente antes de que se celebre el referéndum hay que dejar muy claras las reglas del juego, para evitar que el proyecto se paralice por el rechazo de un solo país. En el caso de que esto ocurriese, dos hipótesis se contemplan: la primera, que los países que no aprueben la Constitución puedan mantenerse en la Unión actual. La segunda, defendida por Giscard d'Estaing, que quienes no la aprueben quedan fuera de la Unión, teniendo en cuenta que la Europa Constitucio-

nal no será continuidad de la Unión Europea anterior.

Asimismo, la Constitución introduce notables cambios en el funcionamiento de la UE, donde junto a una simplificación del funcionamiento de las instituciones se crea la figura del Ministro de Asuntos Exteriores y la del Presidente Europeo, principal interlocutor de la UE a nivel internacional, cuyo mandato duraría dos años y medio, prorrogables por un nuevo mandato, eliminándose así el sistema rotatorio de presidencia del Consejo cada seis meses, ampliándose el plazo, y así asegurar la presencia de una sola voz continuada en la política exterior de la UE.

A pesar de que la mayoría de los dirigentes europeos están bastante satisfechos con el borrador de la futura Constitución, hay dos temas que pueden complicar los trabajos. El primero se refiere al reparto de poder en el futuro Consejo, máximo órgano ejecutivo de la Unión. El proyecto del nuevo texto constitucional rompe con el actual sistema de votación ponderado, pactado en el Consejo Europeo de Niza e instaura un sistema de doble mayoría: una de países y otra de peso demográfico. Esto significa que, para aprobar una

propuesta, será necesario, primero, el voto favorable de la mitad más uno de los países y, segundo, además, el de los estados que representen como mínimo al 60% de la población europea.

Este sistema tiene dos ventajas: primero, que el sistema es muy claro; y, segundo, que no hará falta retocarlo cada vez que se amplíe la Unión o se produzca un cambio de importancia en su estructura democrática.

Los países europeos de tamaño medio, como Polonia y España -de aproximadamente 40 millones de habitantes cada uno- se han quejado de que esta medida favorece la capacidad de bloqueo de los países más grandes como Francia (59 millones) y Alemania (82 millones).

Y, el segundo tema de debate nada tiene que ver con los poderes terrenales y efectivos. La omisión en el texto constitucional de una alusión concreta al cristianismo, ha generado cierta polémica.

Por último, se espera que el documento esté aprobado a lo largo de 2004, fecha en que la mayoría de los países, como se dijo antes, someterán la aprobación de la Constitución a referéndum. 

# Paradas de recarga de centrales nucleares en España durante el año 2003

Ante la reducción de los tiempos de recarga de combustible de las centrales nucleares españolas, el CSN, a instancias de la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso de los Diputados

emitió una instrucción por la que se instaba a los titulares de las centrales a establecer una planificación detallada de dicha recarga. En este artículo se recogen los resultados de esa instrucción.

## 1. Introducción

Durante el año 2003 se ha prestado una especial atención por parte del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) a las actividades de recarga, debido a varios motivos. Los titulares estaban llevando a cabo unos programas de reducción significativa de los tiempos de recarga y, al mismo tiempo, se estaba produciendo en algunas centrales un aumento significativo del número de incidentes durante las mismas. En ese contexto, la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso de los Diputados, en su sesión del día 9 de octubre de 2002, instó al CSN a que en el plazo de tres meses, emitiese una instrucción a todos los titulares de las centrales nucleares para que llevasen a cabo una planificación detallada de los periodos de recarga al haber constatado la tendencia a reducir el tiempo de parada, lo que podría redundar en que se produzcan incidentes en relación con la consecución de este objetivo y afectar a la seguridad de las centrales nucleares.

Ante esta resolución, el Consejo de Seguridad Nuclear estableció unas Instrucciones Técnicas Com-

plementarias a las autorizaciones de explotación de cada central nuclear de fecha 8 de enero de 2003. En estas Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) se establecía que cuatro meses antes del inicio de cada parada de recarga, los titulares de las centrales nucleares deberían enviar al CSN un informe sobre la planificación de la misma. Igualmente se dicta un contenido mínimo del informe anteriormente mencionado: criterios generales utilizados en la planificación, descripción de objetivos globales de seguridad nuclear y protección radiológica, idoneidad de la organización y programa de recarga para el cumplimiento de esos objetivos, descripción de los hitos más importantes de la parada, etc.

Para evaluar los informes solicitados a las centrales nucleares se elaboró el procedimiento PT.IV.10, "Evaluación de la planificación de recargas en centrales nucleares". En este procedimiento se revisan los criterios generales de planificación, los aspectos organizativos tanto de planificación como de ejecución y las medidas para garantizar la seguridad durante la parada.

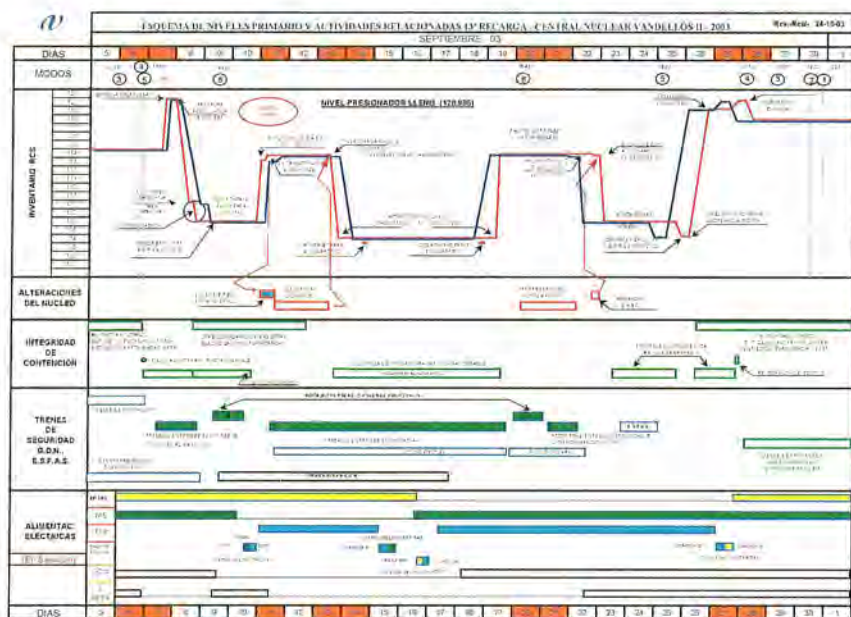
En él se incluyó un cuestionario para cada uno de los apartados anteriores con el objeto de asegurar el cumplimiento de la Instrucción Técnica y de homogeneizar los informes de evaluación.

A continuación se describen las actividades más importantes que se llevan a cabo durante las paradas para recarga, el seguimiento realizado por el CSN de las mismas, los hechos más destacados de las recargas realizadas en el año 2003 y una valoración de los resultados obtenidos.

## 2. Parada de recarga

La parada de recarga es el espacio de tiempo que transcurre entre la desconexión del alternador a la red y su conexión de nuevo, en el cual se realizan los trabajos de cambio de combustible y las principales actividades de mantenimiento. Entre las distintas actividades a realizar en las paradas de recarga podemos destacar las siguientes:

— *Reconfiguración del núcleo.* Para poder operar en el siguiente ciclo de operación es necesario cambiar aquellos elementos que han alcanzado su quemado defini-



► **Figura 1.** Ejemplo de esquema de niveles en el primario, con la comparación previsto y real y principales actividades de la recarga.

tivo. Normalmente se realiza la descarga de los elementos combustibles desde la vasija hasta la piscina de combustible gastado (en algunas centrales está en el propio Edificio de Contención y en otras existe el Edificio de Combustible). Si ha habido indicios durante el ciclo de existencia de defectos en el combustible se realiza la inspección del mismo y la reparación de las varillas afectadas. Con elementos frescos (aproximadamente 1/3 del total de elementos combustibles) y elementos extraídos del núcleo con cierto quemado se diseña la nueva configuración del núcleo para el siguiente ciclo de operación. Los elementos que han alcanzado su quemado definitivo quedan almacenados en la piscina de combustible gastado.

— **Mantenimiento.** Durante el periodo de recarga se realiza la mayor parte de los trabajos de mantenimiento que no se pueden realizar con la planta a potencia. En una parada de recarga se generan aproximadamente unas 5.000 órdenes de trabajo.

Para la organización de todos estos trabajos se disponen de los programas de recarga de manera que unos cuatro o cinco meses an-

tes de la recarga los titulares realizan el primer programa de recarga en el que ya han participado todas las unidades organizativas y se identifica el camino crítico. Sucesivamente se van realizando nuevas versiones con comentarios y posibles nuevas actividades hasta que una semana antes de la parada se dispone de la versión definitiva. En la figura 1 se consigna a modo de ejemplo el esquema de niveles en el primario, con la comparación previsto y real, y principales actividades de la pasada recarga de la central nuclear Vandellós II.

— **Control radiológico de trabajos en recarga.** El servicio de Protección Radiológica (PR) de cada central, realiza antes de cada recarga, una estimación de la dosis colectiva para planificar y aplicar las técnicas de reducción de dosis adecuadas según los criterios ALARA, a los trabajos más significativos que se van a realizar durante la misma. Para las actividades con mayor carga radiológica se generan dossiers específicos donde los técnicos de PR y los servicios ejecutores se reúnen para tratar de optimizar los trabajos.

Durante los trabajos de recarga, así como en operación normal, ca-

da trabajador dispone de lo que se denomina PTR (Permiso de Trabajo con Radiaciones) donde está especificada la información que necesita conocer el trabajador desde el punto de vista de protección radiológica (condiciones radiológicas de la zona de trabajo, normas de comportamiento, dosimetría especial, vestuario y demás protecciones).

Durante la parada, el servicio de Protección Radiológica dispone de personal adicional en planta para supervisar el estado radiológico de la misma, los trabajos más importantes y se realiza un seguimiento de las dosis individuales y colectivas a partir del sistema de dosimetría de lectura directa. Adicionalmente a los límites legales para trabajadores expuestos se establecen límites administrativos más restrictivos.

Al terminar los trabajos, los trabajadores reciben un informe dosimétrico con las dosis recibidas en la recarga y se les realiza una medición en un contador de cuerpo entero para verificar que no ha habido contaminación interna.

— **Modificaciones de Diseño.** Las modificaciones de diseño (MD) que las centrales nucleares tienen que realizar, se realizan principalmente durante el periodo de recarga.

Se trata de configurar los dossiers de estas modificaciones de diseño con meses de antelación a la parada de recarga para, con posterioridad, poder realizar la adjudicación de los contratos de implantación y la gestión de la compra de los materiales de manera que, al inicio de la parada, se disponga de toda la documentación y materiales necesarios para la implantación.

Estas MD pueden proceder de:

- Acciones derivadas de condiciones degradadas o de no conformidad.
- Requerimientos y compromisos con el CSN.
- Derivados de la normativa.
- Mejoras en seguridad nuclear y PR.



► **Figura 2.** Vista de la piscina del reactor vacía durante la parada de recarga.

- Derivadas de la experiencia operativa o de la regla de mantenimiento.

- Sustitución por obsolescencia.
- Mejora de rentabilidad.

— *Coordinación de los trabajos.* Para la realización de los trabajos en la recarga se dispone de un equipo de dirección de recargas y, normalmente, hay una organización interna dedicada a la coordinación de trabajos.

El coordinador de recarga es responsable de: mantenerse continuamente informado del avance de las actividades de camino crítico y subcríticas; solucionar y/o activar los medios necesarios para solucionar cualquier problema que surja durante la parada, coordinar a los diferentes grupos de trabajo para evitar que se produzcan interferencias, centralizar toda la información sirviendo de canal de comunicación entre cada uno de los participantes y el resto de la organización e informar de cualquier suceso que influya o pueda influir sobre los trabajos del camino crítico o cuya importancia requiera una movilización urgente de medios o servicios.

— *Participación de empresas de contrata. Control de trabajos.* Para la ejecución de las actividades

de mantenimiento se realizan por parte del titular adjudicaciones de determinados servicios a empresas externas. Los principales servicios se suelen subcontratar a los suministradores de equipos principales: combustible, turbina, generadores diesel, baterías, etc. Se tiene que reforzar personal de limpieza y descontaminación, lavandería, seguridad física, monitores de PR, garantía de calidad. En total puede haber, aproximadamente, del orden de 1.000 personas adicionales.

Para asegurar que los trabajos se realizan con la calidad debida se les exige a las empresas de apoyo en planta requisitos de Garantía de Calidad (Manual de Calidad a nivel empresa y un Plan de Calidad específico para las actividades que desarrolle), de prevención y salud laboral (plan específico de prevención y salud laboral), protección radiológica y medio ambiente (Real Decreto (RD) sobre trabajadores externos, empresas externas, RD trabajo empresas de trabajo temporal, programa de optimización de dosis), medioambientales (compromiso de cumplir los objetivos y metas medioambientales del titular), requisitos de cualificación de personal, procedimientos, equipos de medida, herramientas y materiales.

El control de los trabajos de las empresas contratistas se realiza a través de reuniones diarias con los responsables, seguimiento por los coordinadores de los trabajos, plan de puntos de inspección y reuniones una vez terminados los trabajos.

### 3. Objetivos del CSN en las recargas

El principal objetivo del CSN durante las paradas de recarga consiste en garantizar que todos los trabajos de recarga se llevan a cabo en condiciones adecuadas de seguridad nuclear de la instalación y protección radiológica de las personas y del medio ambiente.

#### 3.1. Inspecciones, control y seguimiento de los trabajos

Previamente al comienzo de cada recarga se realizó la evaluación de los informes de planificación de recargas. Las conclusiones generales de dichos informes son:

- El alcance de dichos informes no ha sido uniforme al tener menos tiempo disponible para su realización las centrales que tuvieron la recarga en el primer trimestre de 2003.

- El resto de informes cubría los aspectos solicitados en la ITC y, en los casos en que la información era más escasa, se mantuvieron reuniones con los titulares y, en algún caso, tuvieron que aportar información adicional.

- Establecimiento de objetivos por parte de los titulares tanto de seguridad como de protección radiológica.

- Todas las centrales nucleares han seguido la metodología del NUMARC 91.06 para la realización de la evaluación de la seguridad en parada. La metodología utilizada, basada en las funciones críticas de seguridad, es mejorable, ya que otorga valores de ponderación análogos a configuraciones que, claramente, no son equivalentes desde el punto de vista del riesgo asociado. Las centrales que disponen de un análisis probabilístico de seguridad en otros

modos de operación distintos a operación a potencia son la de Ascó y Santa M<sup>a</sup> de Garoña.

– Debido a la revisión realizada por los inspectores se ha modificado la programación de algunos trabajos.

– La reducción de trabajos con relación a otras paradas sí que estaba justificada y, en general, es debida a: un proceso de optimización por parte de los titulares, reducción de los programas de enfriamiento y despresurización por la no realización de prueba de caída de barras y aumento de la tasa de enfriamiento, realización del mantenimiento de un tren de salvaguardias en modo 5, utilización de nuevos equipos para el distensionado de pernos de la vasija, etc.

– Se comprobó que existían ciertos retrasos en modificaciones de diseño tanto en el aspecto documental como en el acopio de materiales con relación a los plazos marcados por los titulares.

Durante los periodos de recarga, el personal del cuerpo técnico

del CSN realiza numerosas inspecciones en las diversas áreas de trabajo de las centrales nucleares: protección radiológica, inspección en servicio, instrumentación y control, pruebas físicas de arranque, pruebas de salvaguardias tecnológicas.

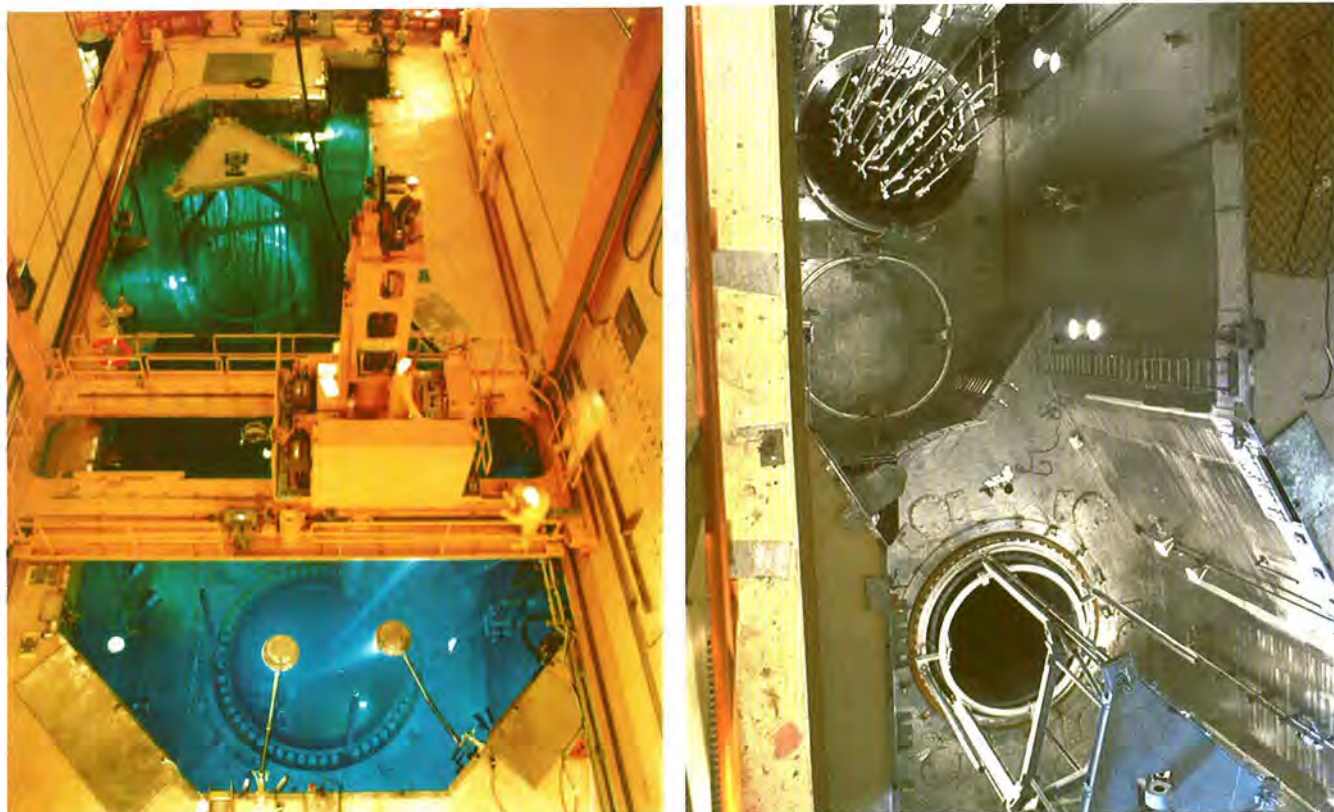
Estas inspecciones se centran fundamentalmente en la presencia de pruebas requeridas por Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) y actividades de mantenimiento, intentando posponer las inspecciones documentales a otros periodos fuera de la recarga.

El seguimiento diario de la recarga es realizado por la Inspección Residente que el CSN tiene destacada en cada una de las centrales nucleares españolas con el apoyo puntual del Jefe de Proyecto. Este seguimiento empieza antes de la parada mediante la evaluación de los informes de planificación y de la información que se recibe de las diferentes versiones de los programas de recarga. Durante la parada se realizan reuniones diarias con el

coordinador de recarga para ser informados de los hechos más destacados ocurridos en las últimas 24 horas, seguimiento de las funciones críticas de seguridad en parada, realización diaria de rondas por las distintas áreas de la planta para verificar que las diversas actividades de recarga se realizan dentro de lo marcado en las ETF, seguimiento de los hitos más importantes del programa de recarga, asistencia a la realización de procedimientos de vigilancia más significativos, estado de implantación de las modificaciones de diseño, cuestiones radiológicas, efluentes radiactivos, situación respecto a los objetivos de recarga y realización de inspecciones no anunciadas.

### 3.2. Informes periódicos del desarrollo de la recarga

Durante el periodo de recarga, cumpliendo con lo establecido en la instrucción IS-02, el titular de cada central remite un informe semanal al CSN, en el que está recogida la siguiente información:



● **Figura 3.** Trabajos en el interior de la piscina del reactor antes y después de la parada de recarga de combustible.

- Avance de la ejecución de los trabajos más importantes realizados indicando comienzo y finalización de los mismos.

- Previsión de los trabajos más importantes que se van a acometer en la semana siguiente, con especial importancia a los hitos dentro del camino crítico de la recarga.

- Desviaciones significativas detectadas en pruebas, inspecciones, etc.

- Trabajos cuyas dosis colectivas se desvíen o se estime puedan desviarse en un 50% respecto de la prevista.

Además de estos informes semanales, los titulares remiten al CSN un informe final conteniendo un resumen general de las actividades realizadas e información detallada de: resultado final de la inspección en servicio, actividades de mantenimiento, modificaciones de diseño, inspección del combustible, pruebas de vigilancia más importantes, pruebas nucleares de arranque y resultados del programa de reducción de dosis.

## 4. Resumen de los hechos destacables

En el año 2003, todas las centrales nucleares españolas, a excepción de Ascó II, efectuaron una parada de recarga. En la tabla 1 se consigna un resumen del desarrollo de dichas paradas de recarga y en la tabla 2 un resumen de las dosis recibidas en los distintos trabajos de las paradas de recarga.

### 4.1. Central Nuclear Santa María de Garoña

La recarga se ha desarrollado entre los días 1 de marzo a las 23:30 h. y 25 de marzo de 2003 a las 16:16 h. La desviación entre la duración prevista de 21 días y la real de 23 días y 16 horas fue debida a diversas causas, siendo la más significativa, las dos paradas automáticas del reactor durante la fase de subida de carga antes de rodar la turbina.

Las actividades o hechos más significativos durante la parada fueron:

- Inspección y reparación de las penetraciones de los accionadores de barras de control.

- Cambio de diseño del sistema de habitabilidad de la sala de control.

Se han producido dos sucesos notificables en el proceso de arranque de la unidad: parada automática del reactor por muy alta lectura de los medidores intermedios de potencia del núcleo durante el proceso de arranque y parada automática del reactor por alta presión durante pruebas de válvulas de turbina.

### 4.2. Central Nuclear Ascó I

La recarga se ha desarrollado entre el 8 de marzo a las 00:00 h y el 12 de abril a las 20:35h. La desviación entre la duración real de 35 días y 20 horas y la prevista de 27 días y 12 horas ha sido de ocho días y 12 horas y fue debida a que cuando se inició la parada existía un conflicto laboral y hasta que no estuvo solucionado no empezaron las actividades de mantenimiento en trenes de salvaguardias.

Las actividades o hechos más significativos durante la parada fueron:

- Proyecto de sustitución de la tapa de la vasija.

- Cambio del sistema de vigilancia de la radiación.

- Sustitución de 20 barras de control.

- Prueba satisfactoria en 28 elementos combustibles del resorte de los cabezales del último lote de elementos de presentar el posible fallo del tornillo.

- Instalación de sistema de medición por ultrasonidos (CALDON) del caudal y temperatura de agua de alimentación con un pequeño aumento de 1,4% en la potencia térmica como consecuencia de la reducción de incertidumbre en las medidas.

- Cambio de onduladores de 7,5 KVAS.

- Cambio de batería de clase GOBIA.

No ha habido sucesos notificados.

### 4.3. Central Nuclear Almaraz II

La recarga se ha desarrollado entre el 20 de abril a las 22:00 h y el 5 de junio. La desviación entre la duración real de 45 días y la prevista de 21 días fue debida a que el día 3 de mayo se produjo una avería importante del generador diesel 4DG que necesitó un largo tiempo de reparación. El CSN autorizó una exención para poder arrancar la unidad con medidas compensatorias, entre ellas la de disponer de un generador diesel portátil acoplado a la barra 2A4 del tren B. Una vez reparado el 4DG se paró la unidad el 27 de junio para alinearlo a la barra 2A4 del tren B, acoplándose a la red, de nuevo, el 1 de julio.

Las actividades o hechos más significativos durante la parada fueron:

- Fallo del generador diesel 4DG.

- Cambio de internos en la bomba de refrigerante primario RCP2.

- Revisión general del alternador incluyendo revisión mecánica y pruebas eléctricas en el rotor y estator.

- Instalación de un control automático en vez de uno manual para mantener la depresión en el edificio de combustible.

- Mejora de los cierres de la mesa de sellado.

- Cambio de instrumentación asociada al cálculo de la potencia térmica del ordenador de proceso SAMO.

No ha habido sucesos notificados.

### 4.4. Central Nuclear de Trillo

La recarga se ha desarrollado entre el 31 de mayo y el 17 de junio. La desviación entre la duración real de 20 días y la prevista de 17,8 días ha sido de 52 horas y fue debida a varios problemas durante el movimiento de combustible y a la reparación de una válvula durante el arranque que retrasó el mismo en unas ocho horas.

Las actividades o hechos más significativos durante la parada fueron:

- Cambio del motor de la bomba

● Tabla 1. Datos varios de las recargas.

|                           | Sta. M <sup>a</sup> Garoña | Cofrentes | Trillo  | Vandellós II | Almaraz I | Almaraz II | Ascó I  | J. Cabrera |
|---------------------------|----------------------------|-----------|---------|--------------|-----------|------------|---------|------------|
| Duración estimada         | 21d                        | 22d       | 17d 19h | 25d          | 22d       | 21d        | 27d 12h | 29d        |
| Duración real             | 23d 16h                    | 32d       | 20d     | 24d 22h      | 22d       | 45d        | 35d 20h | 58d        |
| Dosis objetivo (mSv-p)    | 1100                       | 2500      | 250     | 791          | 500       | 500        | 825     | 492        |
| Dosis real (mSv-p)        | 949                        | 2831      | 212     | 515          | 366       | 283        | 543     | 455        |
| Sucesos notificables      | 2                          | 2         | 2       | 1            | 1         | 0          | 0       | 2          |
| Nº OT                     | 2014                       | 4461      | 3899    | 4747         | 7805      | 8238       | 6828    | 2177       |
| M.Preventivo/M.Correctivo |                            | 4.3       | 1.59    | 4.61         | 5.25      | 4.31       | 6.58    | 1.65       |
| Modificaciones de diseño  |                            | 29        | 46      | 37           | 36        | 37         | 83      | 34         |
| Defectos combustible      | NO                         | NO        | 1       | 1            | NO        | NO         | 2       | NO         |
| Gv inspeccionados         | N/A                        | N/A       | 1       | 1            | 1         | 1          | 1       | 1          |
| Tubos taponados           | N/A                        | N/A       | 5       | 5            | 0         | 0          | 0       | 16         |

de refrigerante del primario YD20 D001 ya que en el arranque se dañó el antigiro y se tuvo que sustituir el motor.

– Fuga por asiento de válvula UD08S002 cuya reparación suponía dejar inoperables los sistemas TH y TA y condicionó en unas ocho horas el arranque.

– Inspección de combustible durante la descarga mediante análisis radioquímico, encontrándose un elemento con fallo.

– Inspección por corrientes inducidas del 100% de los tubos en GV30. Se taponaron 5 tubos (dos

tubos con pérdida de espesor superior al 50% y los otros tres por preventivo por indicación de contacto con parte suelta).

Se han producido dos sucesos notificables en el arranque de la planta: una apertura de válvula de seguridad de vapor principal que llegó a generar señal de parada automática de reactor y una señal de inyección de agua borada por actuación del sistema de limitación.

#### 4.5 Central Nuclear Vandellós II

La recarga se ha desarrollado entre el 6 de septiembre a las 00:05 h y el

30 de septiembre a las 22:51h. La duración de la parada ha sido de 24 días y 22 horas frente al previsto de 25 días.

Las actividades o hechos más significativos durante la parada fueron:

– Inspección remota de la tapa de la vasija.

– Inspección de los tubos guía de la instrumentación intranuclear.

– Inspección por ultrasonidos de elementos combustibles durante la descarga. Se encontró un fallo en una varilla que se repara (se cambia la varilla por una de acero

● Tabla 2. Dosis colectivas y duración de las tareas en las recargas de 2003.

| TAREA                               | Sta. M <sup>a</sup> Garoña |                | Ascó I      |                | Almaraz II  |                | Trillo      |                | Vandellós II |                | Cofrentes   |                | Almaraz I   |                |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|
|                                     | Carga Horas                | D.Colec. mSv-p | Carga Horas | D.Colec. mSv-p | Carga Horas | D.Colec. mSv-p | Carga Horas | D.Colec. mSv-p | Carga Horas  | D.Colec. mSv-p | Carga Horas | D.Colec. mSv-p | Carga Horas | D.Colec. mSv-p |
| 1) Reposición de combustible        | 2463                       | 48,761         | 4606        | 71,99          | 2864        | 53,78          | 1770        | 21,63          | 5607         | 69,77          | 4699        | 137,27         | 2628        | 84,82          |
| 2) Vasija-componentes del reactor   | 1053                       | 15,874         | 1352        | 26,61          | 575         | 20,38          | 1404        | 16,44          | 794          | 52,1           | 2481        | 342,12         | 634         | 21,15          |
| 3) Generadores de vapor             |                            |                | 912         | 24,16          | 800         | 28,23          | 1180        | 39,09          | 905          | 81,05          |             |                | 112         | 16,9           |
| 4) Sistema RHR                      | 106                        | 0,638          | 390         | 2,33           | 0           | 0              | 620         | 2,29           | 18           | 0,3            | 602         | 14,53          |             |                |
| 5) Sistema CVC                      |                            |                | 254         | 3,66           | 0           | 0              | 280         | 0,78           | 62           | 0,39           |             |                |             |                |
| 6) Presionador                      |                            |                | 88          | 0,75           | 12          | 0,16           | 107         | 0,27           | 32           | 4,77           |             |                |             |                |
| 7) S.depuración agua del reactor    | 49                         | 2,919          | 13          | 0,43           | 0           | 0              |             |                | 8            | 0,08           | 39          | 9              |             |                |
| 8) BRR                              |                            |                | 1856        | 27,95          | 1437        | 17,91          | 1644        | 7,26           | 1753         | 71,95          |             |                | 1267        | 17,11          |
| 9) Circuito primario                |                            |                | 316         | 3,14           | 0           | 0              | 226         | 8,91           | 348          | 8,74           |             |                |             |                |
| 10) Válvulas                        | 5058                       | 129,342        | 3667        | 30,41          | 4602        | 39,9           | 5715        | 22,78          | 2807         | 61,18          | 4398        | 261,88         | 4685        | 66,51          |
| 11) Inspecciones                    | 6456                       | 149,194        | 2180        | 27,44          | 1577        | 17,92          | 7802        | 30,32          | 1664         | 31,45          | 2010        | 341,56         | 1186        | 24,59          |
| 12) Trabajos generales              | 12120                      | 128,589        | 35461       | 114,77         | 7947        | 19,42          | 11485       | 22,83          | 25334        | 87,95          | 11246       | 260,1          | 4668        | 18,33          |
| 13) Andamios                        | 2771                       | 26,56          | 2956        | 20,48          | 2451        | 18,59          | 1936        | 4,7            | 1116         | 10,82          | 402         | 41,14          | 1979        | 19,93          |
| 14) Aislamiento                     | 2990                       | 76,619         | 695         | 24,31          | 971         | 23,09          | 1114        | 15,64          | 475          | 22,41          | 1397        | 238,24         | 641         | 27,19          |
| 15) Sistema de vapor (BWR)          | 8655                       | 21,451         |             |                |             |                |             |                |              |                | 1242        | 30,73          |             |                |
| 16) Sistema recirculación (BWR)     | 2185                       | 17,867         |             |                |             |                |             |                |              |                | 1665        | 453,09         |             |                |
| 17) Mecanismos barras control (BWR) | 1630                       | 64,052         |             |                |             |                |             |                |              |                | 905         | 190,3          |             |                |
| 18) Otros sistemas                  | 30058                      | 267,326        | 6719        | 94,38          | 14706       | 43,66          | 12476       | 36,66          | 1602         | 11,7           | 16863       | 511,11         | 13624       | 69,63          |
| Modificaciones Diseño               |                            |                | 3387        | 70,65          |             |                |             |                |              |                |             |                |             |                |
| TOTAL                               | 75594                      | 949,192        | 64852       | 543,5          | 37942       | 283            | 47759       | 230            | 42525        | 514,66         | 47949       | 2831           | 31424       | 366,2          |

Los datos de la central nuclear José Cabrera no habían sido facilitados al cierre de la publicación, por lo que no aparecen en esta tabla.

inoxidable), al tener que entrar. Adicionalmente, se inspeccionaron 73 elementos que quedaban por ser inspeccionados en recargas anteriores y se encontró otro fallo en una varilla de un elemento que no pudo ser reparado y quedó almacenado en la piscina de combustible gastado.

- Inspección dimensional y ultrasónica de cuatro elementos combustibles del programa de alto quemado y medición de capa de óxido.

- Inspección de comportamiento del ZIRLO en cuatro elementos combustibles con diferentes quemados.

- Inspección por corrientes inducidas de 3.579 tubos del generador de vapor C con cinco tubos taponados: dos con defecto (pérdida espesor superior al 40%) y tres con degradación (pérdida espesor inferior al 40%) por rozamiento de parte suelta metálica contra la superficie exterior de los tubos.

- Sustitución del motor de la bomba del sistema de agua de servicios esenciales EFP01A por bajo aislamiento eléctrico.

- Sustitución de las cámaras de los detectores de la instrumentación nuclear de rango fuente N31, N32, rango intermedio N35, N36 y rango potencia N43.

Se ha producido un suceso notificable durante el enfriamiento. Con el reactor subcrítico se produjo una señal de parada automática del reactor por señal de alto flujo neutrónico en el rango fuente (N-32).

#### 4.6 Central Nuclear de Cofrentes

La recarga se ha desarrollado del 14 de septiembre al 16 de octubre de 2003. La desviación entre la duración prevista de 22 días y la real de 32 días fue debida a diversas causas siendo la más significativa las discrepancias en la medida de caudales de los distintos consumidores del sistema de agua de servicios esenciales.

Las actividades o hechos más significativos durante la parada fueron:

- Modificación a 4ª generación de la bomba de recirculación A.

- Cambio de 30 barras de control y 29 accionadores.

- Inspección ultrasónica de las soldaduras de la vasija del reactor.

- Inspección ultrasónica de las soldaduras de las tuberías de la vasija del reactor.

- Inspección de pernos de accionadores de barras de control (CRD): se amplió la muestra a los 145 CRD existentes después de encontrar 13 pernos no aceptables.

- Desviación en las dosis colec-

tivas por aumento inesperado de las tasas de dosis en las tuberías del sistema de recirculación que ha afectado a las tasas de dosis en área de las cotas inferiores del Pozo Seco.

Se han producido dos sucesos notificables: superación del límite de ETF para las fugas de las válvulas de aislamiento de vapor principal y una pérdida de tensión en la línea exterior L1 de 138 KV.

#### 4.7 Central Nuclear Almaraz I

La recarga se ha desarrollado entre el 5 de octubre a las 22h y el 27 de octubre a las 22h. La desviación entre la duración real y la prevista ha sido de 22 horas.

Las actividades ó hechos más significativos durante la parada fueron:

- Cambio de internos en bomba del refrigerante primario RCP2.

- Sustitución no prevista de las cámaras de instrumentación nuclear externa N31/N35 y N32/N35 por dar bajo aislamiento en pruebas de mantenimiento preventivo.

- Inspección del 100% de los tubos guía de la instrumentación intranuclear.

- Sustitución del rotor del alternador.

- Instalación de un control automático en vez de uno manual para mantener la depresión en el edificio de combustible.

- Mejora de los cierres de la mesa de sellado.

- Cambio de instrumentación asociada al cálculo de la potencia térmica del ordenador de proceso SAMO.

- Sustitución de la instrumentación sísmica.

- Cambio de lógica de arranque de los generadores diesel.

Se ha producido un suceso notificable por parada automática del reactor por bajo nivel en GV2 durante el proceso de calentamiento del secundario.

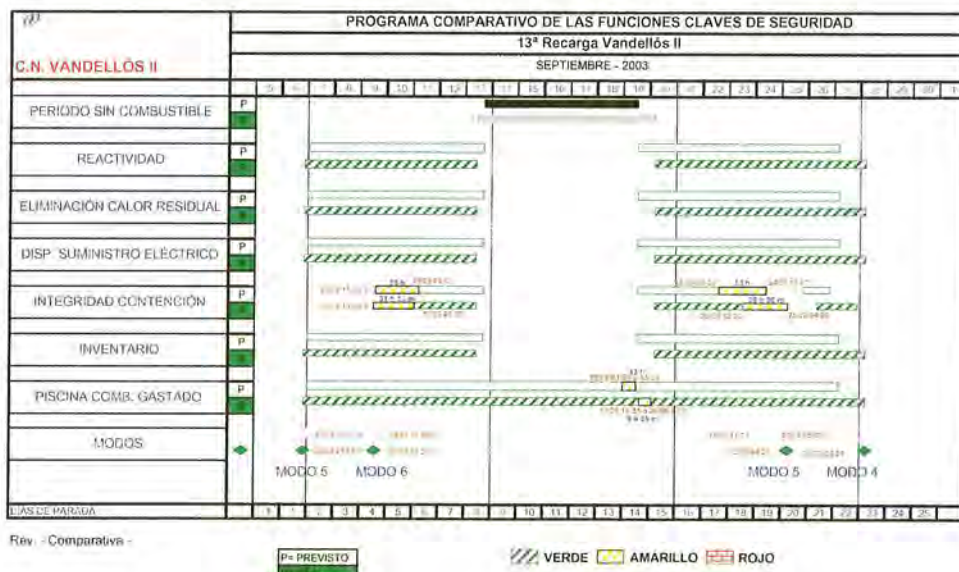


Figura 4. Ejemplo de la evolución del programa previsto y real durante la parada de recarga.

#### 4.8 Central Nuclear José Cabrera

La recarga se ha desarrollado entre el 15 de noviembre a las 00:00 h y el 13 de enero de 2004 a las 5h. La desviación entre la duración real y la prevista ha sido de 29 días y ha tenido varias causas:

- Tras cargar el núcleo del reactor, se identificó la necesidad de descargarlo para repetir una prueba en el Sistema de Inyección de Seguridad que había sido inadecuadamente realizada y, además, realizar una modificación en el Sistema de Refrigeración de Componentes para conseguir los caudales requeridos en algunos consumidores. Esto, junto con la necesidad de hacer una modificación en el Sistema de Inyección de Seguridad para resolver una discrepancia en el caudal del sistema (que había pasado desapercibida desde la realización del proyecto de actualización SEP en el año 1985) supuso un retraso de una semana.

- En la segunda carga del núcleo, se produce la caída a la vasija del reactor de un tornillo de la herramienta de manejo de combustible. La búsqueda de ese tornillo, (que finalmente no ha sido hallado), y las inspecciones subsiguientes para descartar que pudiera estar en ubicaciones donde pudiera plantear problemas a los elementos combustibles ó el movimiento de barras de control, implicaron otro retraso adicional de casi una semana.

- El titular solicitó un cambio de la ETF donde se establecían los caudales a los consumidores del Sistema de Refrigeración de Componentes, pues en diversos consumidores no se cumplían; en algún caso por error de la propia ETF y en otro caso fue preciso justificar caudales menores. La aprobación del necesario cambio de ETF (que se pospuso al solicitarse por el CSN un estudio que permitiera descartar la existencia de otras deficiencias) implicó un retraso de varias semanas (el CSN aprobó la ETF el día 9 de enero de 2004).

Las actividades o hechos más significativos durante la parada fueron:

- Inspección de tubos del GV. Se taponaron 16 tubos por defecto relacionado con ataque intergranular por el lado secundario.

- Limpieza de lodos del GV. Se extrajeron 87 kg.

- Reparación de pequeños defectos en brida de la vasija (que impedían la estanqueidad de una de las juntas tóricas de la cabeza de la vasija).

- Inspección de la turbina de baja presión.

- Realización de la prueba integrada de tasa de fugas de Contención (ILRT).

Durante la recarga ha habido dos sucesos notificables: uno durante el proceso de enfriamiento por señal automática de aislamiento del sistema de agua de alimentación principal y el correspondiente a la reducción de caudal del sistema de inyección de seguridad donde los valores medidos en prueba eran inferiores en un 10% a los requeridos por la especificación.

#### 5. Valoraciones finales

Todas las centrales nucleares han emitido su informe de planificación de recarga que ha sido evaluado por el CSN.

El alcance de dichos informes no ha sido uniforme al tener menos tiempo disponible para su realización las centrales que tuvieron la recarga en el primer trimestre de 2003.

Ha habido una disminución del número de incidencias significativa y de sucesos notificables como consecuencia de actividades de la recarga con relación a años anteriores.

Todas las centrales nucleares han seguido la metodología del NUMARC 91.06 para la realización de la evaluación de la seguridad en parada y lo han tenido en cuenta tanto a la hora de la programación previa de trabajos como a los trabajos imprevistos sur-

gidos durante la parada. Para todas las situaciones de configuración amarilla (riesgo moderado) se dispone de los consiguientes planes de contingencia. No se ha entrado en ninguna configuración roja (alto riesgo) durante las paradas en las funciones clave de seguridad en parada. A modo de ejemplo en la figura 3 se consigna la evolución del programa previsto y real de la central nuclear Vandellós II durante la parada de septiembre 2003.

Durante las paradas, el CSN ha realizado un seguimiento diario de las actividades en curso, del camino crítico y de todas las incidencias que se iban produciendo fundamentalmente a través de la Inspección Residente.

Existe una tendencia general a disminuir las dosis colectivas y cumplir con los objetivos previstos. En el caso de la central nuclear de Cofrentes, el Titular está estudiando un plan de acciones para controlar el incremento de dosis colectiva sobre el objetivo previsto, detectado durante la recarga. Ningún trabajador ha recibido dosis interna por encima del nivel de registro.

Los titulares realizan esfuerzos para optimizar los programas de recarga garantizando al mismo tiempo que se desarrollan con un nivel de riesgo aceptable. En los informes de planificación previos remitidos por los titulares se justificaba la reducción de tiempos de determinadas actividades. En los informes finales de recarga se justifica la diferencia de tiempos entre la duración real y la programada en las actividades del camino crítico. Las discrepancias entre la duración prevista y la real no han sido, en general, achacables a una mala planificación sino a otras causas: huelga de personal al comienzo de la parada, reparación general no prevista de un generador diesel, proceso de cambios de ETF (solicitud, estudios adicionales y aprobación por parte del CSN).

Las pruebas de medida de caudales a los distintos consumidores de los sistemas de refrigeración de componentes y de agua de refrigeración esencial, que se están empezando a realizar en las centrales españolas a petición del CSN, para garantizar que se ajustan a las previsiones de diseño, tras los problemas detectados en algunas centrales, están poniendo de manifiesto

dificultades en el equilibrado de estos sistemas y deficiencias en la instrumentación de caudal de los mismos. Estos problemas han dado lugar en varios casos a retrasos en los programas de recarga hasta que se han solucionado de modo satisfactorio. El CSN ha seguido detenidamente todas las acciones correctoras emprendidas por los titulares.

Como conclusión final se puede afirmar que se está cumpliendo de manera razonable el principal objetivo del CSN durante las paradas de recarga consistente en garantizar que todos los trabajos de recarga se llevan a cabo en condiciones adecuadas de seguridad nuclear de la instalación y protección radiológica de las personas y del medio ambiente. 

## Referencias

- *Resoluciones de la Comisión de Economía y Hacienda del Congreso de Diputados del 9.10.2002.*
- *Procedimiento técnico, PT.IV.10, "Evaluación de la planificación de recargas en CC.NN".*
- *Guía NUMARC 91-06.* Guía de aplicación específica para cada CCNN del conjunto de instrucciones o directrices para evaluar la gestión de la parada de recarga, editadas en diciembre de 1991 por el Grupo "Nuclear Management and Resources Council" en el que participaron represen-

- tantes de Babcock&Wilcox Owners Group, Boiling Water Reactor Owners Group, Combustion Engineering Owners Group, Westinghouse Owners Group, Institute of Nuclear Power Operation y Electric Power Research Institute.
- *Instrucción de 10 de abril de 2002 del CSN número IS-02* (BOE del 4 de julio del 2002), por la que se regula la documentación sobre actividades de recarga en centrales nucleares de agua ligera.
- *Instrucciones Técnicas Complementarias del CSN* a las autorizaciones de explota-

ción de las centrales nucleares españolas en relación con la resolución octava de la Comisión de Economía y Hacienda de 09 de octubre de 2002.

– *Informes finales de recarga* de las centrales nucleares de Santa María de Garoña, Ascó I, Almaraz II, Trillo, Vandellós II, Cofrentes y Almaraz I.

– *Informes de evaluación de la planificación de recarga* de las centrales nucleares Santa María de Garoña, Ascó I, Almaraz II, Trillo, Vandellós II, Cofrentes y Almaraz I y José Cabrera.

# Foro permanente de protección radiológica en el medio hospitalario

El Consejo de Seguridad Nuclear tiene plena competencia en materia de protección radiológica de los trabajadores, el público y el medio ambiente. En este marco, el foro CSN/SEPR-SEFM ha de

establecer un diálogo permanente que favorezca la mejora de la seguridad y la protección radiológica en las instalaciones radiactivas del medio hospitalario y la eficacia del funcionamiento de las mismas.

## 1. Introducción

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) según establece su ley de creación, en relación con sus funciones y responsabilidades, tiene plena competencia en materia de protección radiológica de los trabajadores, el público y el medio ambiente.

La Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y la Sociedad Española de Física Médica (SEFM) son sociedades científicas cuyo objetivo es agrupar a todos los profesionales españoles en sus respectivas materias de interés, configurando un espacio de diálogo, comunicación, información y participación entre sus asociados, el público y las empresas e instituciones públicas y privadas cuya actividad tenga relación con esas materias.

Tanto la SEPR como la SEFM cuentan con un número significativo de asociados cuya actividad profesional se desarrolla con implicación en los temas de protección radiológica asociados al diseño, licenciamiento, construcción y funcionamiento de las instalaciones radiactivas presentes en el medio hospitalario.

Sin menoscabo de la autoridad del CSN, la aplicación y mantenimiento de una adecuada cultura de seguridad y protección radiológica, requieren que las actitudes y relaciones entre el organismo regulador y los profesionales que realizan funciones de protección radiológica en las instalaciones, se desarrollen en un marco que favorezca la comunicación y las buenas relaciones.

Este marco debe permitir la discusión conjunta de objetivos, requisitos reguladores y optimización de los recursos disponibles. Con ello se contribuirá a asegurar que los temas de protección radiológica en las instalaciones radiactivas del medio sanitario reciben la atención requerida en función de su importancia, bien sea directamente, a través de las actuaciones del CSN, o indirectamente a través de la influencia de las opiniones técnicas de los profesionales en la toma de decisiones por parte de los titulares de las instalaciones radiactivas.

## 2. Misión

El Foro CSN/SEPR-SEFM tiene como misión facilitar un diálogo

permanente que favorezca la mejora de la seguridad y la protección radiológica en las instalaciones radiactivas del medio hospitalario y de la eficacia del funcionamiento de las mismas.

## 3. Estructura

La estructura de relación CSN/SEPR-SEFM es la siguiente:

– Comité del Foro: la participación del CSN es liderada por el director técnico de protección radiológica y la de las SEPR y SEFM por los presidentes de las dos sociedades. Son miembros permanentes del comité por parte del CSN: el subdirector de protección radiológica operacional, el subdirector de protección radiológica ambiental y cuatro jefes de área cuyos temas de trabajo están relacionados de alguna manera con las instalaciones radiactivas médicas. Por parte de la SEPR y la SEFM son miembros del comité los presidentes de ambas sociedades y tres representantes por cada una de las dos sociedades, designados entre sus asociados que desarrollen su actividad profesional en el medio sanitario. Uno de ellos ejerce de secretario del Foro.

– Grupos de trabajo *ad-hoc*: dependientes del Foro, tendrán la composición que en cada caso se acuerde por este en función del tema que se les encomiende. Su duración estará limitada a la de los trabajos que realicen.

#### 4. Actuaciones a desarrollar en el Foro

Sin perjuicio de las relaciones entre el CSN y los titulares de las instalaciones radiactivas existentes en el medio hospitalario, las actuaciones a desarrollar en el Foro son las siguientes:

a) Establecimiento de grupos de trabajo sobre temas de interés común en materia de protección radiológica en instalaciones radiactivas del medio sanitario. Estos grupos podrán realizar actividades a corto, medio y largo plazo, de acuerdo con la programación que en cada caso establezca el Foro. Las actividades a desarrollar por estos grupos se referirán fundamentalmente a:

- Aplicación práctica de reglamentación y requisitos reguladores.
- Análisis de nuevas normas, requisitos y recomendaciones.
- Identificación de necesidades y carencias en la normativa, en las instalaciones y en las organizaciones de apoyo (laboratorios, asistencia técnica, etc.) y estudio de posibles soluciones para las mismas.

b) Coordinación de las cuestiones de interés para ambas partes relativas a temas genéricos o comunes para un número significativo de instalaciones radiactivas del medio sanitario.

c) Intercambio de información entre ambas partes sobre actividades, programas o planes, en curso o previstos, relacionados con temas de protección radiológica en las instalaciones radiactivas del medio sanitario.

Es responsabilidad de la SEPR y la SEFM canalizar adecuadamente la participación de sus asociados así como informar a estos sobre las actividades desarrolladas y de los resultados que se deriven de las mismas.

El Comité del Foro efectúa un mínimo de dos reuniones generales cada año.

#### 5. Temas de trabajo definidos

Hasta el momento de redacción de este artículo se han definido catorce temas de interés común para ser desarrollados mediante grupos de trabajo. La identificación y objetivo de cada uno de ellos son los siguientes:

1. Protección radiológica de trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes.

Objetivo: elaborar un documento de criterios específicos y de categorización de puestos de trabajo.

2. Adaptación de la nueva clasificación de zonas y de personal.

Objetivo: proponer criterios adaptados al medio hospitalario y elaboración de un Manual General de protección radiológica.

3. Vertido de efluentes.

Objetivo: establecer límites operativos a partir de las directrices reglamentarias.

4. Residuos radiactivos sólidos.

Objetivo: revisar la normativa y proponer guías o reformas adaptadas al caso hospitalario (residuos con isótopos de vida muy corta).

5. Autorizaciones de nuevas instalaciones y modificación de las existentes.

Objetivo: analizar y proponer procedimientos operativos para agilizar e incrementar la eficiencia de los trámites que regula la normativa vigente.

6. Metrología.

Objetivo: definir las necesidades prioritarias en el área de protección radiológica y proponer acciones.

7. Licencias de supervisor y de operador.

Objetivo: analizar las diferencias en Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Radioterapia. Proponer acciones.

8. Terapia metabólica.

Objetivo: elaborar criterios armonizados de ingreso y alta de pacientes.

9. Contaminación interna en medicina nuclear y en el uso de fuentes no encapsuladas.

Objetivo: elaborar directrices para armonizar las medidas de vigilancia para diversas situaciones.

10. Dosimetría de área.

Objetivo: elaborar criterios para la asignación de dosis personales en diversas situaciones.

11. Directrices del *Real Decreto 413/1997 sobre trabajadores de empresas externas*.

Objetivo: elaborar criterios de protección radiológica aplicables en el medio hospitalario.

12. Formación continua.

Objetivo: establecer esquema de categorías y grupos, incluyendo al personal sin licencia.

13. Estructura de los servicios de protección radiológica en hospitales.

Objetivo: revisar la clasificación de los componentes y proponer guías de actuación.

14. Servicios de vigilancia médica.

Objetivo: revisar su situación con la nueva normativa y a la luz de la Ley de Prevención de Riesgos.

#### 6. Sumario de documentos producidos en el marco del Foro

##### 6.1. Protección Radiológica a Trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes.

El nuevo límite de 1 mSv al feto durante el periodo de embarazo obliga al establecimiento de ciertas condiciones en los puestos de trabajo que desempeña la mujer trabajadora gestante expuesta a radiaciones ionizantes.

El documento del Foro establece los lugares de trabajo donde las trabajadoras gestantes no pueden desarrollar su actividad profesional y elabora varios documentos con información más reducida dirigidos a los médicos y a las trabajadoras.

Además, el documento establece cual es la máxima dosis en abdomen que puede proporcionar 1 mSv al feto. Esta dosis ha sido calculada en 2 mSv.

Este documento acaba de ser publicado y está disponible en las páginas electrónicas. Su contenido está en proceso de divulgación.

## 6.2. Preparación de un Manual General de Protección Radiológica

La nueva reglamentación establece que los servicios y unidades de protección radiológica deben elaborar un manual de protección radiológica para adaptar sus actividades a la nueva clasificación de áreas de trabajo, y la clasificación de trabajadores expuestos considerando los límites de dosis actuales. También se debe considerar la necesidad de elaborar un programa de garantía de calidad para la protección al paciente.

El grupo del Foro decidió que sería muy útil redactar un Manual General que ayudara a los usuarios a la elaboración de sus manuales específicos, con un esquema común para todos.

El Manual General está disponible en la página electrónica de las dos sociedades.

## 6.3. Gestión de Residuos Radiactivos Sólidos

El Consejo de Seguridad Nuclear ha publicado una guía para cubrir las necesidades que existían para realizar la correcta gestión de los residuos radiactivos. Esta guía se basa en los valores de actividad del TEC – DOC – 2000 del documento IAEA.

El Foro revisó la guía y apuntó la necesidad de la creación de una normativa legal que incluya el contenido de esta guía.

La guía fue publicada a principios del año 2002. Posteriormente, se ha publicado la Orden del Ministerio de Economía ECO/1449/2003 de 21 de mayo de 2003 sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría en las que se manipulen o almacenen isótopos radiactivos no encapsulados. Dicha orden, recoge el contenido de la guía.

Un reciente grupo de trabajo tiene el objetivo de preparar un procedimiento general y práctico para aplicar las normas indicadas, haciendo uso de las dos guías técnicas producidas por la SEPR en colabo-

ración con Enresa, ampliamente divulgadas.

## 6.4. Autorización de nuevas instalaciones y Modificación de las instalaciones en operación

El Consejo de Seguridad Nuclear elaboró un documento sobre la aplicación de la nueva reglamentación en el licenciamiento de las instalaciones radiactivas, presentando sus conclusiones al Foro. Asimismo, en este documento, se estableció en qué casos era imprescindible que se efectuase una visita de inspección previa a la modificación de la autorización vigente de la instalación.

Este es un documento interno del Consejo de Seguridad Nuclear.

## 6.5. Criterios de vertido de Efluentes Radiactivos

Nuestra nueva reglamentación de protección radiológica que incluye la Directiva 96/29/EURATOM no contiene los nuevos valores para los límites anuales de incorporación.

El documento del Foro incluye esos límites y futuras nuevas condiciones para las instalaciones, como las que conciernen a la actividad límite que cada instalación puede verter a la red general de alcantarillado.

El documento está disponible en la página electrónica de las dos sociedades. Un grupo de trabajo recientemente constituido, debe preparar un procedimiento práctico para su aplicación.

## 6.6. Metrología

El Foro elaboró en octubre de 2002 el documento de “necesidades de calibración en el ámbito hospitalario español”, donde se han identificado las carencias de calibración de los equipos de medida en diferentes áreas del campo médico, y se han propuesto una serie de actuaciones tales como:

- Poner en conocimiento de la Autoridad Sanitaria la necesidad de la dotación instrumental necesaria para dar cumplimiento al contenido de la reglamentación sobre criterios de calidad en radiodiagnóstico, medicina nuclear y radioterapia.

- Dotar al laboratorio de metrología del Ciemat de medios humanos y materiales que permitan en un periodo no superior a tres años estar en condiciones de dar un servicio adecuado en este campo.

- Establecer un programa a corto plazo conducente a la dotación de equipos de medida a los hospitales y facilitar su calibración y verificación.

- Buscar la financiación necesaria por parte de los organismos implicados.

El documento está disponible en la página electrónica de las dos sociedades. Por parte del CSN, se están impulsando acciones ante los organismos pertinentes, para tratar de poner en marcha actuaciones que cubran las carencias identificadas.

## 7. Grupos de trabajo abiertos

Además de las acciones en curso ya indicadas en puntos anteriores, existen tres grupos de trabajo operativos tratando los siguientes temas:

- Contaminación interna en medicina nuclear y en la utilización de fuentes no encapsuladas.

- Dosimetría de área. Criterios para la asignación de las dosis.

- Terapia metabólica. Criterios de alta radiológica de los pacientes.

Se tiene previsto que estos tres grupos vayan preparando sus respectivos documentos a lo largo de 2004.

## 8. Apreciación de la actividad del Foro

El Foro lleva operando tres años. Su trabajo ha sido muy positivo en el sentido de la relación establecida entre el organismo regulador y los usuarios.

Por otra parte, la calidad técnica y el interés de los documentos elaborados por el Foro es muy importante para el mejor funcionamiento de las instalaciones y para fomentar la cultura de seguridad.

Es un propósito firme y mantenido de las organizaciones y personas que componen el Foro, asegurar la distribución y divulgación amplia de los resultados de su trabajo.

## Grandes figuras de la ciencia nuclear y radiactiva

# James Chadwick

## Premio Nobel de Física 1935.

### Descubrimiento del neutrón

James Chadwick (1891-1974) es una figura clave en el campo de la ciencia nuclear pues fue él quien, a partir de sus estudios de la desintegración de los átomos a

través del bombardeo con partículas alfa, probó la existencia de los neutrones. Por este descubrimiento fue merecedor del Premio Nobel de Física en el año 1935.

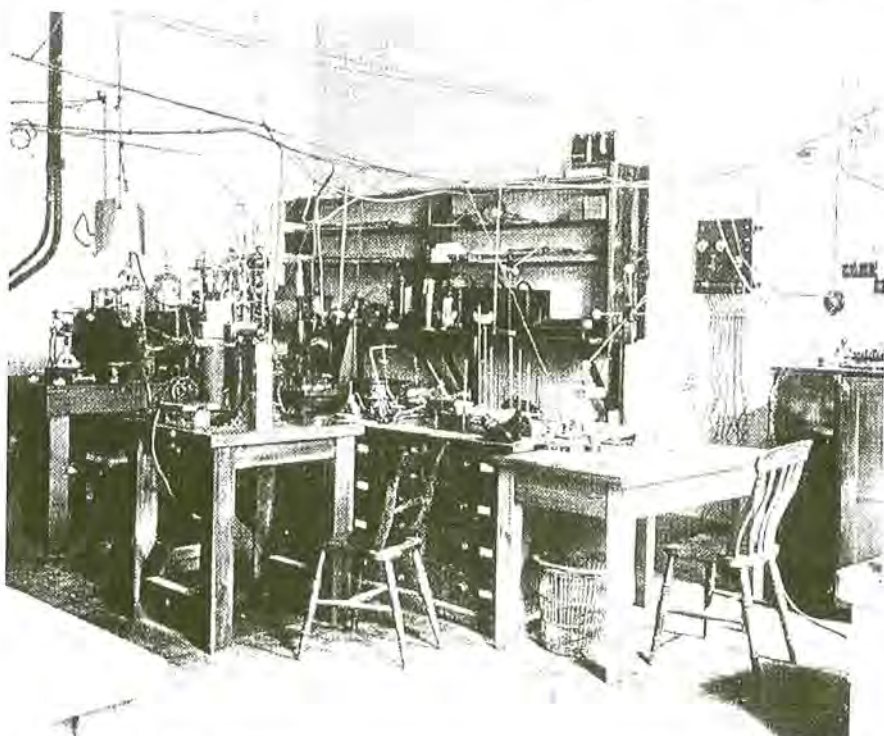
James Chadwick nació en Cheshire, Inglaterra, el 20 de octubre de 1891. Cursó sus estudios de educación primaria en Manchester, donde años más tarde recibiría también su formación universitaria. Se graduó en la Escuela de Honor de Física en 1911, y pasó los siguientes dos años a las órdenes del Profesor (más tarde Lord) Rutherford en el Laboratorio de Física de Manchester, donde estudió diferentes cuestiones relacionadas con la radiactividad, lo que le valió la obtención de su Doctorado en Ciencias. En el mismo año fue merecedor de la distinción de la *1851 Exhibition Scholarship*, y se trasladó a Charlottenbourg para trabajar en el *Physikalisch Technische Reichsanstalt* bajo la supervisión del Profesor Geiger.

Tras la Primera Guerra Mundial, en 1919, volvió a Inglaterra para aceptar la Beca *Wollaston* en el *Gonville y Caius College*, en Cambridge, y para retomar su trabajo con Rutherford, quien en este periodo de tiempo se había trasladado al Laboratorio Cavendish, también en Cambridge. Rutherford había conseguido ese mismo año llevar a cabo la desintegración de

átomos a través del bombardeo con partículas alfa de nitrógeno, obteniendo como resultado la emisión de un protón. Esta fue la primera transformación nuclear artificial. En Cambridge, Chadwick se unió a Rutherford en el estudio de la transmutación de otros elemen-

tos ligeros a través del bombardeo de partículas alfa, y en la investigación de las propiedades y la estructura del núcleo atómico.

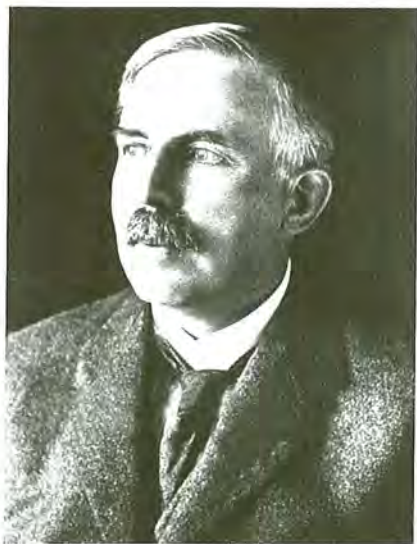
Estas actividades le convirtieron en miembro del *Gonville y Caius College* y llegó a ser ayudante del director de investigación



● **Figura 1.** Habitación en el Laboratorio Cavendish que Rutherford y Chadwick utilizaron para sus experimentos.



► Figuras 2, 3 y 4. James Chadwick, arriba a la izquierda. Abajo, Lord Ernest Rutherford y, sobre estas líneas, una imagen en la que se observa el bombardeo de un átomo.



en el Laboratorio Cavendish en 1923. Poco tiempo después se unió a la *Royal Society*.

En 1932, Chadwick realizó un descubrimiento fundamental en el campo de la ciencia nuclear: probó la existencia de los neutrones, unas partículas elementales sin ninguna carga eléctrica. Al contrario que los núcleos de helio (rayos alfa) que estaban cargados y consecuentemente eran repelidos por las grandes fuerzas eléctricas presentes en el núcleo de los átomos

pesados, este nuevo instrumento para la desintegración atómica no encontraba barreras eléctricas y era capaz de penetrar en el núcleo de los elementos más pesados. Chadwick preparó de esta manera el camino para la fisión del uranio 235 y la creación de la bomba atómica. Este gran descubrimiento le hizo merecer la Medalla *Hughes* de la *Royal Society* en 1932, y pocos años más tarde, en 1935 el Premio Nobel de Física.

Permaneció en Cambridge hasta 1935, año en que fue propuesto como titular del Departamento de Física Lyon en la Universidad de Liverpool. Desde 1943 hasta 1946 trabajó en los Estados Unidos como jefe de la misión británica adjunta al Proyecto Manhattan para el desarrollo de la bomba atómica. Tras este periodo de tiempo regresó a Inglaterra, donde en 1948 se retiró del campo de la investigación y de su puesto en Liverpool al ser nombrado Maestro en el *Gonville y Caius College*, puesto que ocupó hasta 1959. Des-

de 1957 y por un periodo de cinco años fue miembro de la Autoridad de la Energía Atómica Británica.

Chadwick escribió innumerables artículos sobre la radiactividad y otros asuntos asociados a la misma, y junto con Rutherford y Ellis fue coautor del libro *Radiations from Radioactive Substances* (1930).

Sir James fue investido Caballero en 1945. Además de la Medalla *Hughes* de la *Royal Society* anteriormente mencionada, recibió la Medalla *Copley* (1950) y la Medalla *Franklin* del *Franklin Institute of Philadelphia* (1951). Fue Miembro Honorario del Instituto de Física, además de Doctor *Honoris Causa* de numerosas universidades británicas. Formó parte activa de multitud de academias científicas internacionales, como la *Académie Royale de Belgique*, la *American Philosophical Society* o la *The American Physical Society* estadounidenses.

Sir James Chadwick murió en 1974. 

# Actualidad

● Centrales nucleares ● Acuerdos del Consejo ● Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento ● Actuaciones en emergencias ● Instalaciones radiactivas ● Protección radiológica y medio ambiente ●

## ► CENTRALES NUCLEARES

*Información correspondiente al periodo del 20 de noviembre de 2003 al 29 de febrero de 2004*

### Almaraz

Desde el día 6 de noviembre de 2003, la unidad I opera con una potencia nuclear autorizada de 2.739 MWt tras la autorización por el Ministerio de Economía (MIE) del aumento en su potencia nuclear de un 1,6%.

La energía eléctrica bruta producida durante el año 2003 fue de 7.810,154 GWh, habiendo estado acoplada a la red durante 8.233 horas, con un factor de carga del 91,47% y un factor de operación del 93,98%.

Desde el día 11 de diciembre de 2003, la unidad II opera con una potencia nuclear autorizada de 2.739 MWt, al 101,6%, tras la autorización por el MIE del aumento en su potencia nuclear de un 1,6%.

El día 14 de enero de 2004 se programó una parada de la unidad II para sustituir la fase S del transformador principal T2 por el de repuesto, al haberse detectado una pérdida de aislamiento del bobinado del mismo. El día 17 de enero se volvió a acoplar la unidad a la red.

La energía eléctrica bruta producida durante el año 2003 fue de 6.870,339 GWh, habiendo estado acoplada a la red durante 7.406 horas, con un factor de carga del 79,82% y un factor de operación del 84,54%.

De acuerdo con lo previsto en el apartado b) del artículo 2º de la Ley 15/1980, el CSN elaboró informes, en el periodo considerado, para las siguientes autorizaciones:

– El Consejo, en su reunión de 26 de noviembre de 2003, acordó informar favorablemente sobre las revisiones 67 y 68 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la unidad II y de la revisión 72 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la unidad I.

– El Consejo, en su reunión de 26 de noviembre de 2003, acordó informar favorablemente sobre la autorización para el aumento de la potencia térmica nominal de la unidad II y la ampliación a la unidad II de la revisión AC-15 del Estudio de Seguridad. Esta autorización fue aprobada por Resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas de 10 de diciembre de 2003.

En su reunión de 18 de febrero, el Consejo aprobó la revisión 14 del Plan de Emergencia Interior.

Por otra parte, no se han producido paradas no programadas de reactor en ninguna de las dos unidades durante el periodo considerado.

En cuanto a otros sucesos notificables, el día 24 de diciembre de 2003 se produjo una actuación del secuenciador de mínima tensión debido a una perturbación eléctrica exterior a la planta, en la línea C.T. Almaraz-Casatejada que originó una oscilación de tensión en el parque de 220 KV, ocasionando una bajada de tensión en la barra de salvaguardias 2A4.

### Ascó

Ambas unidades de la central han estado operando a potencia de manera estable durante todo este periodo, con la salvedad que se expone a continuación.

El día 24 de noviembre con la unidad I operando al 100% se paró una bomba de agua de circulación para reparar una avería en una reja móvil de la que se retira la suciedad de agua del río. Se bajó la potencia hasta el 85% y una vez reparada la avería se aumentó de nuevo la potencia al 100%.

La unidad II empezó en enero la disminución paulatina de potencia previa a la parada de recarga, prevista para marzo. A 20 de febrero esa potencia era del 86%.



Vista parcial de la piscina del reactor de la central nuclear de Ascó.

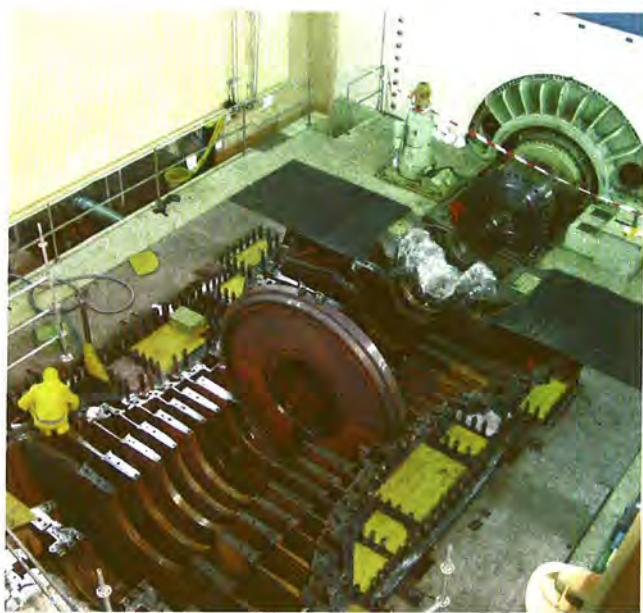
En su reunión del día 20 de noviembre, el Consejo informó favorablemente las revisiones 73 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de ambas unidades. En la misma reunión, el Consejo informó favorablemente el almacenamiento de las tapas de la vasija sustituidas de ambas unidades en el Almacén Temporal de los Generadores de Vapor.

En su reunión del día 18 de diciembre, el Consejo informó favorablemente las revisiones 74 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de ambas unidades.

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

### Cofrentes

La central ha permanecido operando a plena potencia, excepto durante una bajada de potencia programada (fin de semana de 31 de enero a 1 de febrero de 2004), hasta el 50%, aproximadamente, para realizar trabajos de mantenimiento en una turbobomba de agua de alimentación y pruebas para la localización de un elemento combustible fallado.



Trabajos de mantenimiento en la sala de turbinas de la central nuclear de Cofrentes.

En su reunión del día 7 de enero de 2004, el Consejo informó favorablemente sobre diversas modificaciones al Plan de Emergencia Interior (PEI), motivadas por cambios en los sucesos iniciadores relativos a seguridad física e incendios, revisión de los niveles de exposición en emergencia e implantación de procedimientos de comunicación urgente de incidencias de seguridad ciudadana al Centro de Operaciones de Servicio de la Guardia Civil (COS).

En su reunión del día 14 de enero de 2004, el Consejo informó favorablemente una modificación a las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento Mejoradas, motivada por la revisión del Requisito de Vigilancia

asociado a los calentadores eléctricos del Sistema de Tratamiento de Gases de Reserva (SGTS).

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado cinco inspecciones durante este periodo.

### José Cabrera

La central estaba parada desde el 15 de noviembre para efectuar su 27ª recarga.

Las principales actividades llevadas a cabo durante esta recarga fueron las asociadas al cumplimiento de condiciones de la autorización de explotación en vigor o a Instrucciones Técnicas Complementarias impuestas por el CSN asociadas a dichas condiciones. Entre tales actividades, las más importantes son las siguientes:

- Instalación de nuevos motores calificados ambientalmente para las dos bombas de carga.

- Modificaciones en los equipos de Zorita Hidráulica para asegurar su capacidad de soportar el terremoto base de diseño.

- Instalación de válvulas de retención en líneas de inyección de seguridad para el mejor cumplimiento del criterio base de diseño de aislamiento de la barra de presión.

Una vez completadas las actividades de la recarga, la central acopló de nuevo a la red eléctrica el día 14 de enero y alcanzó su máxima potencia el 17 de enero.

El día 6 de diciembre el titular informó al CSN de que al hacer una medida de los caudales de inyección de seguridad, los había encontrado inferiores a lo requerido por la Especificaciones Técnicas de Funcionamiento en los dos trenes en un 10% aproximadamente, aunque los caudales obtenidos habrían sido suficientes, como demostraron cálculos detallados, para mantener la temperatura del combustible dentro de sus márgenes de seguridad en caso de un accidente. El suceso fue clasificado como de nivel 1 en la escala INES. A fin de corregir esta deficiencia, el titular llevó a cabo una modificación de diseño consistente en que la señal de inyección de seguridad, iniciada por cualquiera de los dos trenes, abriría automáticamente todas las válvulas del sistema, independientemente del tren al que pertenecieran, lo que garantiza que se obtiene el caudal requerido. La modificación se implantó y probó durante la parada de recarga.

En su reunión del día 3 de diciembre, el Consejo de Seguridad Nuclear informó favorablemente las revisiones 48 y 49 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento, así como el proyecto de desclasificación de aceites de la central.

En su reunión del día 9 de enero, el Consejo de Seguridad Nuclear informó favorablemente la revisión 50 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

En su reunión del día 18 de febrero, el CSN informó favorablemente la revisión 6 del Plan de Emergencia Interior.

## ACUERDOS DEL CONSEJO

### Proyecto de investigación MASCA

El Consejo ha acordado, con fecha 20 de noviembre de 2003, que se inicien los trámites para la participación del CSN en el Proyecto de Investigación sobre los "Efectos de los procesos químicos y de los productos de fisión en las cargas térmicas impuestas por el corium en la vasija de un reactor nuclear, en el desarrollo de un accidente severo" (Segunda fase del proyecto MASCA de la OCDE). El objeto del proyecto es resolver las incertidumbres existentes para poder gestionar con éxito un accidente severo de la forma más directa, esto es, impedir la rotura de la vasija del reactor, refrigerando el corium contenido dentro de la misma desde su exterior.

### Sistema de pago telemático de tasas y de registro telemático en el CSN

El 20 de noviembre de 2003, el

Consejo ha acordado que se inicien los trámites para la contratación, a través del Servicio Central de Suministros de la Subdirección General de Compras del Ministerio de Hacienda, del servicio para el desarrollo de un sistema de pago telemático de tasas y del registro telemático en relación con la implantación de la administración electrónica.

### Declaración de impacto ambiental de la modificación del Centro de Almacenamiento de El Cabril para el almacén de residuos radiactivos de muy baja actividad

El 3 de diciembre de 2003, con motivo de la solicitud de Enresa de autorización de modificación de las instalaciones de El Cabril, para la realización de una instalación complementaria destinada al almacenamiento de residuos de muy baja actividad, la Dirección General de Calidad y Eva-

luación Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente, solicita Informe del CSN sobre si la modificación propuesta implica aumento significativo de impacto radiológico sobre el medio ambiente. Revisada la información contenida en el Estudio Preliminar de Seguridad remitido por Enresa, que está siendo en la actualidad objeto de evaluación, se han alcanzado una serie de conclusiones respecto al impacto radiológico de la modificación, en condiciones normales y en situaciones accidentales, por las que se puede considerar que la modificación solicitada no implica un aumento de los posibles impactos radiológicos sobre el medio ambiente. El Consejo ha estimado que el proyecto de modificación de la instalación C.A. El Cabril, no implica un aumento significativo de los posibles impactos de tipo radiológico sobre el medio ambiente, lo que será comunicado a la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambien-

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado 10 inspecciones durante este periodo.

### Santa María de Garoña

La central ha operado durante estos meses a plena potencia de forma estable, salvo el día 18 de enero que hizo una bajada programada de carga hasta el 65% para cambiar la secuencia de las barras de control y algunas actividades de mantenimiento.

El día 3 de febrero, Acería Compacta de Bizkaia (ACB) notificó la detección de material radiactivo en los pódicos de su emplazamiento procedente de la central nuclear Sta. M<sup>a</sup> de Garoña. El titular de la central reconoció su procedencia y lo atribuyó a un error en el manejo de chatarras dentro de la central cuyas causas se están investigando. El material radiactivo fue devuelto a la central para su gestión correcta. Este suceso fue clasificado como de nivel 1 en la escala INES.

En su reunión del día 20 de noviembre, el Consejo de Seguridad Nuclear apreció favorablemente el Análisis Probabilista de Seguridad a potencia de la central.

El Consejo de Seguridad Nuclear ha realizado cinco inspecciones durante este periodo.

### Trillo

La central ha estado operando al 100% de potencia de manera estable durante este periodo, excepto el día 9 de febrero que se redujo la carga al 30% debido a que se observó un aumento en el valor de conductividad del agua del condensador debido a una fuga en éste que obliga a reducir potencia al 30% según los procedimientos químicos del secundario. Posteriormente se estabiliza el valor de la conductividad y, al comprobar que las condiciones químicas mejoraron, se elevó la potencia al 50%. El día 12 de febrero se normaliza la situación iniciándose la subida de carga alcanzando el 100% el día 13.

En su reunión del día 20 de noviembre de 2003, el Consejo informó favorablemente sobre la revisión 17 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento. Esta revisión fue aprobada por resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas de 10 de diciembre de 2003.

En su reunión del 10 de diciembre de 2003, el Consejo informó favorablemente sobre la utilización de metodología de crédito al quemado para combustible PWR y la revisión 18 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento. Esta revisión fue aprobada

tal, del Ministerio de Medio Ambiente.

**Extensión del Acuerdo CSN-USNRC de participación en el Programa CAMP (*Code Application and Maintenance Program*) de la USNRC**

El Consejo de Seguridad Nuclear viene participando en el Programa CAMP (promovido por la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) en el que concurren organizaciones de diversos países) desde el año 1994, lo que ha permitido mantener y mejorar sus conocimientos orientados a la aplicación de los códigos termohidráulicos RELAP y TRAC en tareas de evaluación y licenciamiento de centrales nucleares. El Consejo, con fecha 3 de diciembre de 2003, ha acordado que se inicien los trámites para proceder a la extensión del Acuerdo CSN-USNRC de participación en el Programa CAMP, por un pe-

riodo de cinco años efectivos desde el 31 de agosto de 2003.

**Guía de Seguridad del CSN GS-10.13 "Garantía de Calidad para el desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares"**

El texto de la Guía, una vez superado el trámite de comentarios internos, se remitió a las entidades externas afectadas, habiéndose tenido en cuenta los comentarios pertinentes. A la vista de lo que antecede, el Consejo acordó el día 10 de diciembre de 2003 aprobar la Guía de Seguridad GS-10.13 "Garantía de Calidad para el desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares", y que se proceda a su publicación.

**Plan de investigación a desarrollar por el Ciemat en los terrenos de Palomares**

El Ciemat solicitó al CSN un informe sobre el Plan de investiga-

ción del epígrafe. El día 10 de diciembre de 2003, el Consejo aprobó un informe favorable al "Plan de investigación a desarrollar por el Ciemat en los terrenos de Palomares que requieren una especial vigilancia radiológica ambiental", lo que será comunicado al Ciemat, al Secretario de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa y a la Directora General de Política Energética y Minas.

**Proyecto de investigación PKL**

El 17 de diciembre de 2003, el Consejo acordó que se inicien los trámites para la participación del CSN en el Proyecto PKL. El proyecto está auspiciado por la Agencia para la Energía Nuclear (NEA) de la OCDE, y su objeto es investigar experimentalmente en la instalación PKL, ubicada en Erlangen (Alemania), ciertos aspectos y fenómenos que, en el ámbito de la termohidráulica, in-

por sendas resoluciones de la Dirección General de Política Energética y Minas de 23 de diciembre de 2003.

En su reunión del 26 de noviembre de 2003, el Consejo concedió una potencial exención temporal al cumplimiento del apartado de acción de las especificaciones 4.4.3.1 (subsistema de inyección de seguridad de baja presión del sistema de refrigeración de emergencia y evacuación de calor residual en Estado Operativo, EO, 1, 2 y 3), 4.7.1.1 (sistema de refrigeración de componentes nucleares), 4.7.2.1 (sistema de agua de refrigeración esencial en EO 1, 2 y 3) y 4.9.1.1 en lo que respecta a su relación con los sistemas de la cadena de refrigeración de emergencia y evacuación de calor residual (fuentes de corriente alterna en EO 1, 2 y 3), por un periodo máximo de siete días, con determinadas condiciones y con la adopción de medidas compensatorias por parte del titular. Esta potencial exención permitiría proceder a la reparación de un cambiador de calor perteneciente al sistema de agua de refrigeración de componentes nucleares afectado por una pequeña fuga.

En su reunión de 18 de febrero de 2004, el Consejo informó favorablemente la revisión 10 del Plan de Emergencia Interior.

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



Vista general de la sala de turbinas de la central nuclear de Trillo.

## ACUERDOS DEL CONSEJO (Continuación)

ciden plenamente en la seguridad de los reactores de agua a presión, concretamente en la prevención y gestión de accidentes de dilución de boro y de pérdida del foco frío en situaciones de parada. El Acuerdo de la participación será efectivo a partir de la fecha de su firma y permanecerá en vigor hasta el día 31 de diciembre de 2006.

### Acuerdo Específico para la realización de medidas radiológicas ambientales en emergencias nucleares o radiológicas entre el CSN y el Ciemat

El Consejo acordó el día 7 de enero de 2004 que se inicien los trámites para la prórroga del Acuerdo Específico para la realización

de medidas radiológicas ambientales en emergencias nucleares o radiológicas, mediante unidad móvil de control radiológico y los laboratorios fijos entre el CSN y el Ciemat. El Acuerdo fue firmado con fecha 20 de abril de 2001, y anualmente debe ser prorrogado, salvo denuncia de una de las partes. El Acuerdo comprende la disponibilidad del personal, dos intervenciones *in situ* al año y dos medidas en el Laboratorio de Medidas de Protección Radiológica (LMPR), a facturar semestralmente.

### Documentación sobre actividades de recarga en centrales nucleares de agua ligera

El 21 de enero de 2004, el Consejo se ha dado por enterado de

las Memorias y Borradores I de la Guía de Seguridad, GS-1.5 y de la Instrucción, IS.2 del CSN: "Documentación sobre actividades de recarga en centrales nucleares de agua ligera", por lo que se remiten ambos documentos a comentarios externos.

### Proyecto de la OCDE "FIRE Incident Records Exchange (OECD-FIRE)"

El Consejo acordó el 4 de febrero de 2004 que se inicien los trámites para la adhesión del CSN al proyecto de la OCDE "FIRE Incident Records Exchange (OECD-FIRE)". El proyecto se presentó en la Comisión Estratégica del Plan Coordinado de Investigación, que aprobó su desarrollo y la participación de Unesa como canal principal para reunir y proporcio-

## Vandellós II

La central ha operado de forma estable a potencia durante todo este periodo.

En su reunión del día 3 de diciembre, el Consejo de Seguridad Nuclear informó favorablemente la revisión 8 del Plan de Emergencia Interior.

En su reunión del día 11 de diciembre, el Consejo de Seguridad Nuclear informó favorablemente la revisión 48 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

En su reunión del día 4 de febrero, el Consejo informó favorablemente la una modificación de diseño para implantar una nueva línea de recirculación del sistema de extracción de calor residual.

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

## ● INSTALACIONES DEL CICLO Y EN DESMANTELAMIENTO

### Centro de Almacenamiento de residuos de El Cabril

El 17 de diciembre de 2003, el CSN informó favorablemente al Ministerio de Economía la solicitud presentada para la revisión del documento "Criterios de Aceptación de Unidades de Almacenamiento". Asimismo, y como consecuencia de la revisión del mencionado documento, el CSN en la misma reunión de

fecha 17/12/03 apreció favorablemente la revisión 6 del Estudio de Seguridad y la revisión 6 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de la instalación.

En diciembre de 2003, Enresa presentó la Revisión Periódica de la Seguridad (RPS) de acuerdo con lo dis-



Interior de una celda de almacenamiento de El Cabril.

nar los datos pertinentes referentes a las centrales españolas. El CSN será el responsable del uso e intercambio de la información a través de un coordinador. El Proyecto de la OECD/NEA está vigente desde el año 2002 hasta el 2005, siendo el coste estimado de 112.000 euros por año.

### **Participación del CSN en el Proyecto Tareg**

El 18 de febrero de 2004, el Consejo ha acordado la participación del CSN en el Proyecto Tareg. Se colaborará en el análisis solicitado por el Parlamento Europeo a la Comisión sobre los trabajos realizados hasta la fecha con los fondos del Programa Tacis de asistencia a los Nuevos Estados Independientes. El Proyecto Tareg tiene como objetivos

principales: a) definir el programa de asistencia a los países beneficiarios y b) evaluar los beneficios que estos países han obtenido en los 12 años de asistencia por parte de la Unión Europea. El trabajo principal que llevaría a cabo el CSN estaría relacionado con Ucrania ya que el CSN ha participado en todos los proyectos de asistencia al Organismo Regulador del citado país desde el año 1993.

### **Proyecto de investigación y desarrollo sobre el comportamiento de materiales avanzados de vaina altamente irradiados**

El proyecto se enmarca en las líneas estratégicas correspondientes al primer programa del Plan

de I+D del CSN y su objetivo consiste en realizar ensayos con combustible irradiado en centrales nucleares españolas en condiciones de almacenamiento en seco, que permitan determinar la ley de fluencia térmica de materiales de vaina avanzados con distintos quemados y espesores de corrosión, a fin de calcular los grados de deformación de la vaina tras varias décadas. La vigencia del Convenio de colaboración abarca desde su firma hasta noviembre de 2005. El Consejo ha acordado, con fecha 18 de febrero de 2004, que se inicien los trámites para la firma de un Convenio de colaboración entre Enresa, Enusa y el CSN para participar en el proyecto de investigación y desarrollo citado.

puesto en la condición 9.1 de la Autorización de explotación de la instalación. Esta RPS comprende el periodo transcurrido desde el inicio de explotación de la instalación hasta el año 2002 y su alcance y contenido deberá estar de acuerdo con las instrucciones complementarias establecidas por el CSN.

Durante este periodo se realizaron tres inspecciones en relación con:

- Calibración de la instrumentación de la torre meteorológica.
- Prueba integrada para el acondicionamiento de residuos asimilables a áridos.
- Verificación y control de la aceptación en la instalación de los residuos generados en las instalaciones radiactivas y actividades asociadas a la retirada y transferencia de los mismos.

### **Ciemat**

Continúa el seguimiento y control de las instalaciones operativas y paradas del centro.

Durante el proceso de evaluación del proyecto de desmantelamiento de instalaciones, el CSN ha remitido al Ciemat diversas solicitudes de información complementaria sobre la documentación presentada.

Durante este periodo se ha realizado una inspección de control a las instalaciones incluidas en el proyecto de desmantelamiento.

### **Fábrica de Uranio de Andújar (FUA)**

Se ha continuado con el seguimiento del Programa de vigilancia y mantenimiento del emplazamiento.

### **Planta Lobo G de la Haba (Badajoz)**

Ha continuado con el seguimiento del Programa de vigilancia y control del emplazamiento establecido para el periodo de cumplimiento, el cual ha sido prorrogado hasta el 30 de junio de 2004 por resolución ministerial.

### **Centro minero de Saelices el Chico (Salamanca)**

En el Centro minero de Saelices están emplazadas las plantas de fabricación de concentrados de uranio: Quercus y Elefante, así como las minas de uranio.

La planta Quercus se encuentra en situación de cese definitivo de actividades productivas desde el 14 de julio de 2003. Enusa, titular de la instalación, ha solicitado la revisión de los documentos oficiales de explotación siguientes para adaptarlos a la fase de parada definitiva:

- Estudio de seguridad, rev.6
- Especificaciones técnicas, rev.6
- Plan de emergencia, rev.6
- Reglamento de funcionamiento, rev.6
- Manual de protección radiológica, rev.5

El CSN ha informado favorablemente la revisión 6

## ACTUACIONES EN EMERGENCIAS

### Plan Básico de Emergencia Nuclear

La Dirección General de Protección Civil ha remitido al Consejo de Seguridad Nuclear el borrador final del Plan Básico de Emergencia Nuclear, para emisión del informe preceptivo. El Consejo ha acordado el 3 de diciembre de 2003, informar favorablemente el proyecto de real decreto por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear remitido por la Dirección General de Protección Civil, sin perjuicio de la concreta redacción del artículo 3º del Borrador, para que se incluya la participación del CSN en el proceso de aprobación de los Planes Directores de los planes de emergencia nuclear exteriores de las centrales nucleares.

### Sucesos notificables

Desde la publicación del último número de la revista, el Consejo de Seguridad Nuclear, siguiendo el procedimiento reglamentario y a través de su sala de emergencias, ha recibido la notificación de un total de cinco informes sobre sucesos relacionados con la explotación de las centrales nucleares españolas, clasificados todos ellos como informes sobre sucesos notificables en 24 horas de acuerdo con la *Guía de Seguridad GS-1.6* del Organismo y corresponden a Ascó, José Cabrera, Trillo, Almaraz y Santa María de Garoña.

### Incidentes radiológicos

Desde la publicación del último número de la revista, el CSN, a través de su sala de emergencias ha recibido la notificación de un total de seis incidentes radiológicos: dos referentes a incidentes relacionados con el deterioro de equipos medidores de densidad y humedad de suelos, tres referentes al extravío y localización o sustracción y recuperación de material o equipos radiactivos y uno relacionado con la localización de material metálico contaminado en una acería.

Adicionalmente, el día 5 de enero de 2004, la Dirección General de Protección Civil, solicitó al CSN su actuación ante la posible localización del lugar de impacto de un meteorito en el término municipal de Minglanilla, en la provincia de Cuenca, con el objeto de caracterizar radiológicamente el potencial hallazgo que finalmente no fue confirmado. Con ocasión de esta solicitud el CSN envió un equipo de dos técnicos del CSN y un equipo de dos técnicos de su servicio de apoyo externo a la intervención.

### Ejercicios y simulacros

Desde la publicación del último número de la revista del CSN, han tenido lugar los preceptivos simulacros de emergencia de las centrales nucleares de Cofrentes, Trillo y Vandellós I, esta última desmantelada.

del reglamento de funcionamiento y ha apreciado favorablemente la revisión 5 del manual de protección radiológica de esta instalación con fecha 11 de febrero.

La planta Elefante continúa en fase de desmantelamiento, estando a punto de finalizar la construcción de la capa de protección contra la emisión de radón y

de la capa de protección contra la erosión que se coloca sobre la capa de protección contra la emisión de radón.

Durante este periodo de tiempo se han realizado dos inspecciones a la planta Quercus y dos inspecciones a la planta Elefante de seguimiento y control.

El nuevo "Proyecto de restauración definitiva de las explotaciones mineras de Enusa en Saelices el Chico" se encuentra en fase avanzada de evaluación en el CSN.

### Central nuclear Vandellós I

El Plan de desmantelamiento y clausura de la central ha finalizado. El titular está revisando la documentación presentada para la fase de latencia, para adecuarla a las instrucciones remitidas por el CSN y a las nuevas modificaciones relacionadas con el emplazamiento y el almacén de residuos ATOC. Enresa presentará esta documentación acompañando a la solicitud para la fase de latencia en el primer trimestre del año 2004.

Por otra parte, el CSN continúa con la evaluación del plan de restauración del emplazamiento.

En el transcurso del año actual no se ha realizado ninguna inspección a la instalación.



Vista de la planta Quercus.

El día 27 de noviembre tuvo lugar el simulacro de la central nuclear de Cofrentes entre las 09:00 y las 14:30 horas, con los siguientes supuestos: declaración de alerta de emergencia por alta concentración de actividad en el refrigerante; emergencia en el emplazamiento por fallo del sistema de protección del reactor, fallo en la inserción de barras de control; declaración de emergencia general por dosis altas de radiación en el interior del emplazamiento, superiores a 10 mSv/h; aislamiento de una línea de vapor dañada, arranque de sistema de inyección a baja presión e inyección de barras de control con recuperación del control sobre la central y declaración de categoría III: emergencia en el emplazamiento seguida de fin de simulacro.

El día 10 de diciembre de 2003 tuvo lugar el simulacro anual de emergencia de la central nuclear de Trillo, entre las 16:20 y las 21:30 horas, con los siguientes supuestos: declaración de alerta de emergencia por fuga de refrigerante primario superior al caudal de aportación de una bomba de carga; indisponibilidad de un generador diesel; declaración de emergencia en el emplazamiento por accidente de pérdida de refrigerante superior a la aportación de dos bombas de carga, seguido de inyección de seguridad; pérdida de corriente eléctrica exterior y fallo al arran-

que de un generador diesel y otro indisponible; declaración de emergencia general por disponibilidad de una única bomba de inyección de seguridad y entrada en guía de gestión de accidente severo; recuperación de energía eléctrica exterior y declaración de fin de simulacro.

En la mañana del día 28 de noviembre tuvo lugar el simulacro de emergencia correspondiente a la central nuclear Vandellós I, actualmente en desmantelamiento. Como suceso iniciador se supuso un incendio en la sala eléctrica del edificio de vigilancia y servicios que afectó al sistema de cables de distribución de 380 V y al panel de reagrupamiento de señales de la latencia. Como consecuencia de una sobreintensidad en la línea de 380 V se declaró un incendio, activándose el Plan de Emergencia en situación de prealerta.

### **Actuaciones en materia de protección física**

El Consejo ha informado favorablemente la solicitud de renovación de las autorizaciones de posesión, uso y almacenamiento de materiales nucleares previstas en el Real Decreto 158/1995 sobre protección física de los materiales nucleares presentadas por los titulares de las instalaciones nucleares. Visto el informe favorable del CSN y del Ministerio del Interior, el Ministerio de Economía ha renovado las autorizaciones solicitadas.

### **Fábrica de combustible de Juzbado**

Durante el periodo comprendido entre el 20 de noviembre de 2003 y el 20 de febrero de 2004, aunque ajena al explotador y sin repercusiones para la Instalación, el titular ha informado de una incidencia en la recepción de contenedores de óxido de uranio procedentes de BNFL/ Westinghouse del Reino Unido, por la que encontraron que faltaban varios tornillos y los cuatro existentes estaban incorrectamente apretados, de la tapa interior del contenedor tipo 3516 nº 222, que alojaba nueve bidones de polvo de óxido de uranio, la tapa externa de dicho contenedor estaba correctamente colocada.

A requerimiento del titular, el expedidor BNFL/ Westinghouse ha indicado que la función de dicha tapa interna es el aislamiento térmico y que no se ha visto comprometida la seguridad en el transporte. El asunto fue comunicado asimismo a las autoridades del Reino Unido.

El titular ha abierto un informe de desviación para que el expedidor analice cómo pudo producirse la incidencia y acciones correctoras adoptadas para evitar su repetición.

Por otra parte, se han aprobado por el Consejo los siguientes documentos oficiales de explotación y modificaciones de diseño o de las condiciones de operación:

- El 8 de enero de 2004 el Consejo informó favorablemente al Ministerio de Economía (ME) autorización de la revisión 19 del Estudio de seguridad, en la que se modifica el capítulo 10 de “Análisis de accidentes previsibles” debido a la incorporación de los nuevos factores de conversión de dosis del RPSCRI (Reglamento protección sanitaria contra radiaciones ionizantes) así como a la consideración de nuevas hipótesis de evaluación de algunos sucesos en base a su experiencia operativa.

- El 12 de enero entró en vigor la revisión 12 del Plan de emergencia interior, desde esa fecha están también plenamente vigentes la revisión 20 de las Especificaciones de Funcionamiento y la revisión 15 del Reglamento de funcionamiento, en lo que se refiere a Directores de Emergencia en los modos 2 y 3 de operación.

El CSN ha realizado las siguientes inspecciones:

- Organización y controles de la Dirección.
- Mantenimiento de sistemas de seguridad.

- Seguridad frente a criticidad.
- Plan de Gestión de calidad en fabricación de combustible y explotación segura de la Instalación.
- Experiencia operativa, normativa y formación.

Todas pertenecen al Programa Base de Inspección.

Las actividades reguladoras más significativas durante este periodo han sido:

- Ha continuado la evaluación de las Especificaciones de Funcionamiento y del Estudio de Seguridad Asociado, para recoger las nuevas especificaciones sobre efluentes y la metodología de cálculo de los límites establecidos. El titular ha enviado para su aprobación por la DGPEM( Dirección general de política energética y minas) las correspondientes propuestas de revisión de los capítulos 6 y 12 de las Especificaciones de Funcionamiento y 9 del Estudio de Seguridad.

- Concluyó la evaluación de la revisión 3 del Manual de Gestión de Calidad, en el que se introducen aspectos del nuevo RINR, norma UNE 73-401, la firma electrónica de documentos y el almacenamiento de registros en soporte electrónico, la propuesta de dictamen técnico será tratada por el Consejo en su reunión del tres de marzo.

- Se consideró aceptable la propuesta de Programa de Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental para el año 2004.

- Del 31 de diciembre al seis de enero, la planta permaneció en modo 4 de operación, paralizando su proceso productivo.

- En este periodo, el jefe de proyecto ha permanecido dos semanas en la Instalación, como formación específica y dentro del programa de estancias programadas de los jefes de proyecto en sus correspondientes instalaciones.

## ► INSTALACIONES RADIATIVAS

### **Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales y actividades conexas**

Entre el 31 de noviembre de 2003 y el 29 de febrero de 2004 el CSN ha realizado las siguientes actuaciones relativas a instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales y actividades conexas: 18 informes para autorizaciones de funcionamiento de nuevas instalaciones, 56 informes para autorizaciones de modificación de instalaciones previamente autorizadas y ocho informes para declaración de clausura; ocho informes para la autorización de retirada de material radiactivo; ocho informes para autorizaciones de Empresas de Venta y Asistencia Técnica de equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico, seis informes de autorizaciones de Unidades Técnicas de Protección Radiológica, seis informes relativos a Aprobación de Tipo de aparatos

radiactivos, dos informes sobre homologación de cursos de formación para la obtención de licencias o acreditaciones de personal y un informe para autorización de otras actividades reguladas según el artículo 74 del RINR.

### **Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales y actividades conexas**

En el periodo comprendido entre el 31 de noviembre de 2003 y el 29 de febrero de 2004, el CSN ha remitido 26 apercibimientos a instalaciones radiactivas y actividades conexas, de ellos 17 se han dirigido a instalaciones industriales, tres a instalaciones de investigación y docencia, tres a instalaciones médicas y tres a entidades no autorizadas.

Asimismo se ha remitido apercibimiento a 83 empresas de Venta y Asistencia Técnica de equipos de rayos X de radiodiagnóstico médico que no enviaron al CSN el informe anual correspondiente al año 2002.

## ► PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MEDIO AMBIENTE

### **Campaña 2004 de intercomparación analítica de muestras ambientales**

El CSN lleva a cabo desde 1992, con el apoyo técnico del Ciemat, un programa anual de ejercicios de intercomparación analítica entre los laboratorios que realizan medidas de baja actividad, con el objeto de garantizar la homogeneidad y fiabilidad de los resultados obtenidos en los programas de vigilancia radiológica ambiental. En estos ejercicios participan todos los laboratorios involucrados en los programas de vigilancia desarrollados tanto alrededor de instalaciones como en todo el territorio o en otras actividades que impliquen medidas de baja actividad.

En enero de este año se ha iniciado la intercomparación correspondiente al 2004. Teniendo en cuenta la publicación en febrero del 2003 del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, la matriz objeto de estudio en esta campaña es una solución acuosa sintética preparada y calibrada en el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del Ciemat, en la que se llevarán a cabo las determinaciones analíticas incluidas en dicho real decreto, alfa total, beta total y beta resto y tritio, y otras como estroncio-90, cesio-137, plutonio 239+240 y americio-241.

El número de laboratorios participantes es de treinta y nueve, figurando entre ellos un laboratorio portugués, representante de la Dirección General de Ambiente, y también un laboratorio cubano, perteneciente al Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones en la Habana.

Los resultados de la intercomparación analítica serán presentados en la Jornada Anual de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN de este año, con la asistencia de todos los laboratorios participantes.

### **Reunión del Comité de sustancias radiactivas de la Convención OSPAR para la protección del medio ambiente marino del Atlántico Norte-Este**

La Convención OSPAR tiene como objeto la protección del medio ambiente marino de la región noreste del océano Atlántico frente a los efectos adversos derivados de las actividades humanas; creada en 1992 como resultado de la fusión de las convenciones de Oslo (Convención para la prevención de la contaminación marina provocada por vertidos desde buques y aeronaves) y de París (Convención para la prevención de la contaminación marina de origen terrestre), entró en vigor en 1998 y fue firmada y ratificada por España como país que entra en su ámbito de aplicación.

El Comité sobre Sustancias Radiactivas (RSC) tiene como finalidad dar cumplimiento a la Estrategia definida por la Convención OSPAR en esta materia; se creó a partir de un grupo de trabajo previo, como consecuencia de la nueva estructura de OSPAR, surgida a raíz de la Reunión Ministerial celebrada en Sintra (Portugal) en 1998. El RSC mantiene reuniones anuales, a las que asisten técnicos del CSN como representantes de España; la última reunión ha tenido lugar en La Rochelle (Francia), del 26 al 30 de enero del 2004, a invitación del gobierno francés.

El objetivo de esta estrategia es prevenir la contaminación del área marina debida a las radiaciones ionizantes mediante una reducción progresiva y sustancial de las descargas, emisiones y pérdidas de

sustancias radiactivas, con el fin último de que las concentraciones en el medioambiente se encuentren dentro de valores próximos a los del fondo para las sustancias radiactivas de origen natural y próximos a cero para las sustancias radiactivas de origen artificial. En la consecución de este objetivo se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: usos legítimos del mar, técnicas disponibles, así como el impacto radiológico sobre el ser humano y la biota.

Durante la reunión de La Rochelle, se discutieron y acordaron diversas medidas encaminadas a garantizar el progreso en la aplicación de la Estrategia, lo que lleva consigo el envío por parte de los distintos países de información específica sobre las descargas radiactivas, procedentes tanto del sector nuclear como del no nuclear, así como sobre la concentración de sustancias radiactivas en el medioambiente marino, todo ello dentro de unos plazos establecidos a lo largo del año 2004.

Otro aspecto relevante considerado durante la reunión fueron los nuevos criterios a aplicar en la 4ª ronda de informes sobre el cumplimiento de la Recomendación relativa a la aplicación de las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones, mediante la cual las Partes Contratantes se comprometieron a respetar las recomendaciones de las organizaciones internacionales competentes y aplicar las mejores tecnologías disponibles para minimizar y, según sea pertinente, eliminar la contaminación causada por las descargas radiactivas de la industria nuclear, incluidos los reactores de investigación y las plantas de reprocesado, en el medioambiente marino. (Para más información, consultar la página web de OSPAR: [www.ospar.org](http://www.ospar.org)). 

# Noticias breves

- Consejo de Seguridad Nuclear • Actividades internacionales • Congresos, cursos y conferencias • Premios • Información general

## CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

### **Entrada en vigor del Acuerdo de Encomienda de funciones del Consejo de Seguridad Nuclear al Gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias**

El pasado 15 de enero de 2004 tuvo lugar, en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear, la firma del Acta de Entrada en Vigor de Convenio de Encomienda de Funciones del CSN al Gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias, por parte de María-Teresa Estevan Bolea, presidenta del CSN, y Luis Soria López, consejero de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías del Gobierno de Canarias, respectivamente.

Los convenios de encomienda de funciones, según establece la Disposición Adicional 3ª de la Ley de Creación del CSN, desarrollan una relación entre el CSN y las comunidades autónomas en virtud de la cual, el CSN encarga a las mismas la realización de actividades de carácter material, técnico o de delegación de servicios, propios de la competencia del primero. La competencia del CSN abarca las funciones atribuidas al organismo en las disposiciones legales vigentes y las que, en el futuro, puedan serle asignadas mediante las disposiciones que emanan del Parlamento o del Gobierno.

Las características de las Encomiendas de Gestión, que son diferentes de las que se plantean en la Transferencia de Competencias o de la Delegación Administrativa, se establecen en el artículo 15 de la Ley de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, de 26 de noviembre de 1992. Esta Ley posee carácter básico y, en consecuencia, es de aplicación al CSN.

Según dicho precepto, se puede encomendar la realización de actividades de carácter material, técnico o de servicios propias de un órgano o entidad administrativa, a otros órganos o entidades de la misma o de distinta Administración, si se considera conveniente por razones de eficacia o por la no disponibilidad de medios técnicos idóneos para su ejercicio, quedando entendido que en ningún caso se está transfiriendo ni la titularidad de la competencia, ni los elementos sustantivos de su ejercicio.

En particular, este acta de entrada en vigor es el fruto de una intensa labor de preparación de los recursos humanos y técnicos por parte de

la Comunidad Autónoma de Canarias y del CSN, que acredita la cualificación del personal que interviene en la ejecución de las funciones encomendadas y garantiza una mejor ejecución de las funciones propias del CSN utilizando las capacidades de las Comunidades Autónomas, prestando, por tanto, a los administrados y a la sociedad en su conjunto un servicio más eficaz y eficiente, y aproximando los órganos administrativos a los ciudadanos. Así pues, a partir de la fecha mencionada, la Comunidad Autónoma de Canarias ejecutará las funciones de las inspecciones de control de funcionamiento de las instalaciones radiactivas y la inspección del transporte del combustible nuclear y de otros materiales radiactivos, aplazando la entrada en vigor de otras funciones encomendadas como son las de inspección y control relacionadas con la construcción, la puesta en marcha, modificación y clausura, así como las restantes previstas en el ámbito de aplicación del acuerdo de encomiendas, hasta que la Comunidad Autónoma de Canarias y el CSN, de mutuo acuerdo, consideren que los inspectores acreditados hayan adquirido un conocimiento completo y estén familiarizados con las instalaciones en funcionamiento en su Comunidad.

Finalmente, cabe decir que con esta firma con la Comunidad Autónoma de Canarias, largamente esperada, cumple el CSN con la resolución 35 de la Comisión de Industria y Energía del Congreso de los Diputados, correspondiente al Informe Anual de actividades 2002 del CSN, por la que se profundiza en el desarrollo de la política de encomiendas y en las relaciones con las Comunidades Autónomas de España. Con esta firma se consolidan las encomiendas de funciones del CSN a un total de siete comunidades autónomas, continuando aquel sus esfuerzos en establecer esta relación con otras nuevas.



María-Teresa Estevan Bolea y Luis Soria en el momento de la firma del Acuerdo de Encomienda.

## Plan de Acción sobre Protección Radiológica de los pacientes

El 21 de enero se celebró, en el Salón de Actos del Ministerio de Sanidad y Consumo, una sesión pública, presidida por el Excmo. Sr. Secretario General de Sanidad, y en la que participó la presidenta del CSN María-Teresa Estevan Bolea, sobre el seguimiento del Plan de Acción Internacional de Protección Radiológica de los Pacientes que nació de la Conferencia celebrada en Málaga en 2001.

Los días 19 y 20 había tenido lugar en Madrid la primera reunión del Comité de Seguimiento del citado Plan de Acción del OIEA.

El objetivo de la sesión fue la presentación de un resumen de las actuaciones realizadas hasta ahora y del plan de trabajo futuro, así como la información por el Ministerio de Sanidad y Consumo español de un resumen de los avances realizados en la protección radiológica de los pacientes y de sus propuestas de colaboración en el Plan de Acción del OIEA.

## Seminario de Formación para Alcaldes y Concejales sobre Seguridad Nuclear y Protección Radiológica en la Gestión de la Energía Nuclear, de los Residuos Radiactivos y el Desmantelamiento de Centrales Nucleares

Organizado por el CSN y la Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares (AMAC), y con la participación de Enresa, el Foro de la Industria Nuclear Española y la Dirección General de Protección Civil, se celebró los días 12 y 13 de febrero de 2004, en el Salón de Actos del CSN, un seminario de formación sobre Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, dirigido a alcaldes y concejales de ayuntamientos situados en los entornos de todas las centrales nucleares españolas.

Asistieron 58 representantes de la administración local de 45 municipios que rodean a las siete centrales nucleares españolas.

Este seminario está enmarcado en el Acuerdo Específico de Colaboración entre el CSN y la AMAC para la realización de un programa de comunicación y formación en las áreas con centrales nucleares y de análisis de su incidencia directa en la opinión pública de dichas zonas.

Los temas, tratados por expertos de todos los organismos citados, abarcaron la seguridad nuclear y la protección radiológica desde la perspectiva del CSN, los planes de emergencia analizando las competencias del CSN y de la Dirección General de Protección Civil, los residuos radiactivos, su tratamiento y gestión por Enresa y las políticas de comunicación desde la visión del Foro Nuclear y el CSN.

Después de cada presentación, un debate ponía fin a cada sesión, donde los asistentes expresaron sus inquietudes y formularon todo tipo de preguntas que fueron respondidas por los expertos y por un panel de responsables de las instituciones participantes.

Asimismo, todos los asistentes pudieron visitar la Sala de Emergencias del CSN, la cual, dotada de una moderna tecnología, es el centro neurálgico desde donde se controla y analiza minuto a minuto la situación operativa de todas las centrales nucleares, se visualiza la vigilancia radiológica y se analizan las posibles consecuencias y las actuaciones correctoras necesarias que mitigarían un hipotético accidente. También visitaron el Centro de Información del CSN donde se muestran de forma instructiva las propiedades y aplicaciones de las radiaciones ionizantes, las medidas de protección, el funcionamiento de las centrales nucleares, el ciclo de combustible, el funcionamiento del CSN, etc.

## Acuerdo Específico de colaboración entre el CSN y la Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares para la realización de un programa de comunicación y formación en las áreas con centrales nucleares y de análisis de su incidencia directa en la opinión pública de dichas zonas

Dentro del acto de apertura del Seminario para alcaldes de municipios en el entorno de las centrales nucleares, el día 12 de febrero de 2004, se ha firmado el Acuerdo Específico entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares (AMAC) para la realización de un programa de comunicación y formación en las áreas con centrales nucleares y de análisis de su incidencia directa en la opinión pública de dichas zonas, por parte de María-Teresa Estevan Bolea, presidenta del CSN y Rafael González Mediavilla, presidente de AMAC y alcalde de Valle de Tobalina (Burgos).

Este Acuerdo Específico, que se engloba dentro del Convenio Marco de Colaboración entre el CSN y la AMAC, firmado con fecha 22 de septiembre de 2003, tiene por objetivo realizar un análisis de la efectividad de la información y la participación que existe actualmente en materia de energía nuclear por parte del ciudadano y de los distintos sectores de la sociedad, para así conocer la imagen que se genera en la realidad y, de esta manera, disponer de elementos que ayuden a determinar actuaciones concretas para el CSN que faciliten, a través de iniciativas participativas de información y formación para electos y agentes interesados locales, un estado de opinión que propicie un debate equilibrado sobre temas relacionados con las instalaciones nucleares y la aceptación de nuevos escenarios relacionados con las mismas.

Con este estudio se pretende conseguir que, tanto los ciudadanos que viven dentro de los municipios, como los distintos sectores que se enmarcan en el área de las centrales nucleares, puedan disponer de una información clara y suficiente como para poder participar y debatir, con conocimientos reales, sobre una instalación nuclear, tomando en consideración las diferentes peculiaridades que, concernientes a sus propios municipios, afectan a los emplazamientos de dichas instalaciones.

Este Acuerdo Específico, de dos años de duración, tendrá también en cuenta la inquietud que provoca en la población la posibilidad de construcción de nuevos emplazamientos de instalaciones nucleares y radiactivas de cualquier categoría, dentro o en las cercanías de sus ciudades, así como una revisión de las percepciones sobre las diferencias y similitudes que garantizan la continua seguridad de los trabajadores, de la población y del medio ambiente durante las fases de clausura y desmantelamiento de la instalación nuclear para asegurar el conocimiento sobre la continuidad y la transparencia del proceso regulador.

### **El Consejo de Seguridad Nuclear y la Asociación Española de Radioterapia y Oncología impulsan una campaña de divulgación**

El día 24 de febrero se presentó ante los medios de comunicación en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Madrid, el proyecto "La radioterapia: un tratamiento fundamental contra el cáncer" cuyo objetivo es informar a la sociedad española sobre las radiaciones ionizantes, la inocuidad de las instalaciones y tratamientos utilizados.

Este proyecto se enmarca dentro del acuerdo firmado el 29 de octubre de 2003 entre María-Teresa Estevan Bolea, presidenta del Consejo y el Dr. José Pardo Masferrer, entonces presidente de la Asociación Española de Radioterapia y Oncología (AERO) y actualmente presidente asesor de esta Asociación. El acuerdo entre ambas entidades tiene por objeto informar a la sociedad española sobre el uso de las radiaciones ionizantes con finalidad terapéutica, básicamente aplicada a paciente oncológicos.

El Dr. Manuel de las Heras, actual presidente de AERO, recordó que "es importante comentar todos estos aspectos a la sociedad, puesto que la mayor parte de los pacientes

desconoce en qué consiste el tratamiento con radiaciones ionizantes".

El proyecto presentado "La radioterapia, un tratamiento fundamental contra el cáncer" pretende comunicar los avances y utilidades de ese tratamiento a la población de forma clara y sencilla, así como a los profesionales del sector. La radioterapia es un tratamiento seguro, indoloro, preciso y altamente eficaz y es importante formar a la sociedad en estos temas para su mayor conocimiento.

José Pardo recordó que en 2004 recibirán radioterapia más de 100.000 españoles, en su gran mayoría por problemas oncológicos: "Un porcentaje significativo de estos pacientes no conoce bien la radioterapia, puesto que es la gran desconocida en el tratamiento de los pacientes de cáncer".

El consejero del CSN Julio Barceló, como representante del CSN, reconoció la importancia de difundir el conocimiento de los beneficios de las radiaciones ionizantes en el ámbito sanitario a la población.

Posteriormente, el día 27 se celebró en Barcelona una comida con medios con el mismo objetivo.

### **Plan Estratégico de I + D del Consejo de Seguridad Nuclear (2004-2007)**

El Consejo de Seguridad Nuclear aprobó el 14 de enero de 2004 el Plan Estratégico de I+D del CSN correspondiente al periodo 2004-2007. El Plan consta de nueve programas que son los siguientes: El primer programa se refiere al combustible, en concreto agrupa los proyectos en curso o previstos para conocer la respuesta del combustible en condiciones de quemados muy altos y su comportamiento ante los accidentes de inserción de reactividad. El segundo programa se refiere a la barrera de presión de circuito primario, el comportamiento termohidráulico, el mantenimiento

de su integridad y las posibles soluciones de los problemas de envejecimiento de los materiales con vida activa hasta más de 40 años. El tercer programa se refiere al mantenimiento de la integridad de la contención, tanto en caso de accidentes base de diseño como, muy principalmente, en caso de accidentes severos. El cuarto programa se refiere a los análisis probabilísticos de seguridad y factores humanos, tanto en las aplicaciones directas de esta nueva metodología como en su constitución de un nuevo enfoque de la normativa de la seguridad de las instalaciones y su operación, la regulación informada por el riesgo. El quinto programa se refiere a la Protección Radiológica de las personas que tiene por objetivo conocer mejor y de forma más rápida los niveles de exposición a que están sometidas las personas por razón de su trabajo. Este programa se completa con el estudio de las bases biológicas de la Protección Radiológica, cuyo objetivo final es mejorar el conocimiento

de la relación entre la dosis y sus efectos, a través de estudios radiobiológicos. El sexto programa se refiere a la evaluación del impacto radiológico debido a las instala-



María-Teresa Estevan Bolea, José Pardo Masferrer y Julio Barceló Vernet durante la presentación de la campaña "La radioterapia: un tratamiento fundamental contra el cáncer" a los medios de comunicación.

ciones, actividades o situaciones que, de forma real o potencial, liberen material radiactivo al medio ambiente y a la evaluación de la exposición a la radiación natural. El séptimo programa se refiere a la reducción del impacto radiológico y comprende las técnicas de gestión de materiales y residuos y las técnicas de intervención en áreas afectadas por accidentes. El octavo programa se refiere a la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad, en concreto, a la opción preferida internacionalmente del Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) y a las restantes alternativas en estudio. El noveno programa se refiere a las Centrales Nucleares Avanzadas. En los programas de desarrollo de reactores avanzados se contempla un objetivo doble: mejorar la seguridad reduciendo el impacto en las personas y el medio ambiente y disminuir el coste de generación de electricidad. Estos nuevos reactores deben proporcionar, a través de sus innovaciones tanto en diseño como operación, los beneficios medioambientales y de salud pública que reduzcan el llamado riesgo residual, es decir, la ya baja probabilidad y potenciales consecuencias de un accidente.

#### **Convenio del CSN con la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad Autónoma de Madrid**

El día 5 de marzo de 2004, en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear, en Madrid, tuvo lugar la firma del Convenio que dicho Organismo y la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, han acordado suscribir para potenciar la formación e información en materia de protección radiológica en dicha región, especialmente entre los titulares de las instalaciones radiactivas.

Este acto de firma se circunscribe dentro de la visita que el consejero de Economía e Innovación Tecnológica, Fernando Merry del Val y Díez de Rivera, realizó a las instalaciones del Consejo, en la que, asimismo, se le mostraron las de la Sala de Emergencias y el Centro de Información.

## **▶ ACTIVIDADES INTERNACIONALES**

### **Presidencia Irlandesa de la Unión Europea**

La presidencia de la Unión Europea, que ostenta Irlanda durante el primer semestre de 2004, estará marcada por la ampliación de la Unión a diez países más el día 1 de mayo, así como por la continuación de los trabajos sobre la Constitución Europea y las elecciones al Parlamento Europeo en junio.

La presidencia, en el seno del Grupo de Cuestiones Atómicas del Consejo, considera que las directivas del paquete nuclear son el asunto más importante a debatir, acompañado del Reglamento Euratom de Salvaguardias y de la Seguridad Nuclear en el contexto de la ampliación, con el examen por homólogos a Bulgaria.

### **Reunión del Comité Consultivo Internacional de Organismos Reguladores para la Asistencia al Organismo Regulador Ucraniano en el Licenciamiento del Sarcófago de Chernóbil (ICCRB)**

El Comité Consultivo Internacional de Organismos Reguladores para la Asistencia al Organismo Regulador ucraniano en el Licenciamiento del Sarcófago de Chernóbil (ICCRB) es un grupo de expertos de organismos reguladores de países occidentales (Alemania, Canadá, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Gran Bretaña, Italia, Suecia y Suiza) que asesora al organismo regulador de seguridad nuclear y protección radiológica ucraniano, SNRCU, en las actividades relacionadas con el licenciamiento del sarcófago de la central accidentada. Este grupo está financiado con los fondos internacionales depositados en el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo.

El grupo, que se reúne una vez al año en Kiev, recibe unas consultas del regulador ucraniano, se entrevista con todos los grupos implicados en la construcción y licenciamiento del sarcófago, y emite un informe con sus conclu-



Acto de firma del Convenio de colaboración entre el CSN y la consejería de Innovación Tecnológica de la CAM.

siones. El SNRCU transmite este informe a su Gobierno que determina qué solución se ha de tomar.

En la reunión celebrada en enero de este año en Kiev, donde asistió un representante del área de Internacional del CSN, el grupo debía de pronunciarse sobre cinco cuestiones concretas planteadas por el Organismo Regulador ucraniano:

- Principios fundamentales de seguridad para el licenciamiento del sarcófago.
- Otorgamiento de licencias sujetas a condiciones.
- Sistema de inspección y control.
- Exención de materiales contaminados (desclasificación).
- Toma de decisión para mitigar las consecuencias de accidentes.

Tras las entrevistas pertinentes con todos los grupos implicados, y teniendo en cuenta las mejores prácticas en los países occidentales, el grupo hizo una serie de recomendaciones para facilitar el trabajo del regulador y recortar así los tiempos para la construcción del sarcófago, sin detrimento de la seguridad y la protección a los trabajadores y la población en general.

## 25º Aniversario de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias de México

El pasado 26 de enero la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias de México (CNSNS) celebró su 25 aniversario. Con este motivo se organizó un acto conmemorativo en el que participó el consejero Julio Barceló con una conferencia sobre protección radiológica en el ámbito sanitario. En el acto el consejero del CSN hizo entrega a la Comisión mexicana, en la persona de su director general, de una placa conmemorativa.

En 1955 México contaba ya con una Comisión Nacional de Energía Nuclear, organismo que ejercía funciones de control y vigilancia de la producción de energía nuclear. Sin embargo, el inicio de la andadura de la actual Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias se sitúa en 1979, cuando el 26 de enero se publica oficialmente la Ley



Julio Barceló, consejero del CSN y Juan Eibenschutz H., director general de la CNSNS (México).

Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear, que crea este organismo como órgano descentralizado dependiente de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

Hace pues 25 años que la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias viene cumpliendo sus atribuciones de establecer y vigilar la aplicación de normas y reglamentos de seguridad nuclear, radiológica, física y las salvaguardias, para el funcionamiento de instalaciones nucleares y radiactivas, así como velar porque el uso, manejo, transporte y posesión del material nuclear y radiactivo, se lleven a cabo con la máxima seguridad de los usuarios directos y del público en general.

## CONGRESOS, CURSOS Y CONFERENCIAS

### Jornada sobre "Nuevas Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica"

El día 23 de enero se celebró una jornada científica, organizada por el Consejo de Seguridad Nuclear en colaboración con la Sociedad Española de Protección Radiológica, en la sede del CSN, con objeto de presentar el estado actual



Un momento de la jornada científica. De izquierda a derecha: David Cancio; Pedro Carboneras, presidente de la Sociedad Española de Protección Radiológica; Juan Carlos Lentijo, director técnico de Protección Radiológica del CSN y Eliseo Vaño.

de la propuesta de nuevas recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).

Las presentaciones corrieron a cargo del Dr. David Cancio, miembro del Comité 4 de ICRP, "Aplicación de las recomendaciones de ICRP" y del Dr. Eliseo Vaño, miembro del comité 3 de ICRP, "Protección en medicina".

La presentación del Dr. Cancio versó sobre el proceso de revisión de las recomendaciones, la necesidad y oportunidad de dicha revisión, las dificultades planteadas con el sistema actual, y los aspectos identificados por ICRP, tras la revisión de dicho sistema y sus fundamentos; asimismo, resumió los aspectos consolidados, propuestos para las recomendaciones de 2005, el resultado de la revisión hasta la fecha y la previsión de acciones hasta la elaboración del texto final.

Por su parte, el Dr. Vaño se centró en las actividades de ICRP respecto a la protección radiológica en medicina, reseñando las funciones y responsabilidades del comité, así como los últimos documentos elaborados por ICRP en la materia; dio a conocer el desarrollo de un área educativa, destinada a promover el conocimiento de los temas de protección radiológica y detalló tanto los principales temas tratados en la última reunión del Comité, como los que constituirán el objeto de su trabajo para los próximos años.

La jornada despertó un gran interés en el ámbito de los profesionales de la protección radiológica por cuanto implicaba un avance de las nuevas recomendaciones de ICRP, cuya presentación formal tendrá lugar en Madrid el próximo mes de mayo en el transcurso del Congreso IRPA-11.

## ► PREMIOS

### Máster de Oro

Le ha sido concedido el premio Máster de Oro del Fórum de Alta Dirección a María-Teresa Estevan Bolea, presidenta del CSN. La entrega tuvo lugar el 16 de marzo. Este galardón se entrega a altos directivos dentro del mundo de la empresa, la política, ciencia e investigación y fuerzas armadas, como reconocimiento a la labor realizada en el cargo actual y por su trayectoria. También recibieron el premio en el mismo acto Juan Manuel de Barandica, introductor de embajadores del Ministerio de Asuntos Exteriores; Ramón Blanco, vicepresidente ejecutivo de Repsol; Victor Calvo Sotelo, presidente de Correos y Telégrafos; Marcos de Castro, presidente de la Confederación Empresarial Española de la Economía Social; Angel Gabilondo, rector de la Universidad Autónoma de Madrid; Asís Martín de Cabiedes, presidente de Europa Press; Vicente Martínez Pujalte, portavoz de Economía del Partido Popular; Ingemar Naeve, presidente de Ericsson España y María del Mar Raventós, presidenta de Codorniu.

### Premio por 25 años de servicio en las Administraciones Públicas

El día 19 de diciembre de 2003 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 servicio en la Administración durante el pasado año: M<sup>l</sup> Ángeles Labajo Salazar, M<sup>l</sup> del Carmen Ruiz López, Paloma García Rodríguez, M<sup>l</sup> Teresa Abadías Durán, José Luis Martín Matarranz, Francisco Javier Reig Redondo, Jesús Gil Huguet, Carmen Álvarez García, José Miguel Aguilar Civera, María Pilar Martín García y Alicia Ruiz Pérez.



Los homenajeados acompañados por la presidenta del CSN.

## ► INFORMACIÓN GENERAL

### Aprobación de Directiva Europea sobre control de fuentes encapsuladas

El 22 de diciembre de 2003 el Consejo de Europa ha aprobado la Directiva 203/122/Euratom sobre control de las fuentes radiactivas selladas y de las fuentes huérfanas, que pretende armonizar los mecanismos de control establecidos en los estados miembros.

Incluye requisitos específicos para garantizar que las fuentes permanezcan controladas en todo momento a través de los mecanismos administrativos de autorización de prácticas, información sobre transferencias, establecimiento de un registro de fuentes y requisitos de identificación y marcado de las fuentes. Asimismo establece obligaciones para los poseedores de las fuentes en relación con pruebas y verificaciones sobre las mismas, protección física, notificación a las autoridades de incidencias (pérdida, robo, uso no autorizado) y accidentes, gestión de fuentes en desuso e información sobre transferencias.

En relación con las fuentes huérfanas, establece requisitos para la detección de fuentes en lugares donde es probable que estas aparezcan y para la gestión segura de las fuentes que se descubran.

La Directiva debe quedar transpuesta a la reglamentación nacional antes del 31 de diciembre de 2005, aunque permite que la puesta en práctica de algunos de los mecanismos de control de fuentes sea pospuesta hasta finales de 2007.

### **Alimentos e ingredientes alimentarios autorizados para el tratamiento con radiación ionizante**

La normativa europea sobre alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes establece que los productos alimenticios podrán tratarse mediante radiación ionizante sólo en el caso de que haya una necesidad tecnológica, el tratamiento no plantee riesgos para la salud, exista un beneficio para el consumidor y no se utilice como sustituto de las medidas higiénicas o sanitarias o de las prácticas correctas de elaboración o de cultivo; considerando que todo alimento tratado con radiación ionizante o que contenga ingredientes tratados con radiación ionizante debe estar etiquetado, y que los productos alimenticios tratados con radiación ionizante sólo podrán importarse de terceros países si van acompañados de documentación detallada y sólo han sido tratados en una instalación autorizada por la Unión Europea.

La Comisión ha elaborado una lista comunitaria de alimentos autorizados para recibir tratamiento con radiación ionizante en la Unión Europea.

En la Unión Europea hay muy pocos países que permiten el tratamiento con radiación ionizante de alimentos distintos de hierbas, especias y condimentos vegetales y en aquellos que lo permiten (Bélgica, Italia, Francia, los Países Bajos y el Reino Unido) se someten, en la práctica, muy pocos alimentos a radiación ionizante.

A pesar de que la Organización Mundial de la Salud ha declarado que la irradiación no entraña ningún riesgo para la salud si se utiliza adecuadamente, hay algunos órganos de protección de los consumidores que ponen en duda la necesidad tecnológica y los beneficios para los consumidores, y advierten de una mala utilización de la tecnología para sustituir a las medidas higiénicas.

En base a las opiniones de los consumidores, a que en la Unión se venden alimentos sometidos ilegalmente a la radiación ionizante y no etiquetados y a que las radiaciones pueden contribuir a ocultar las deficientes condiciones de higiene, el Parlamento Europeo en su Resolución publicada en DOUE de 5 de febrero de 2004 sobre la Comunicación de la Comisión relativa a los alimentos e ingredientes alimentarios autorizados para el tratamiento con radiación ionizante en la Comunidad de 17 de julio de 2002 ha establecido:

- Que la Comisión colabore con la Organización Mundial de la Salud encargando y difundiendo estudios sobre la seguridad de los alimentos irradiados para los consumidores y los trabajadores y minoristas del sector alimentario.



La Comisión ha elaborado una lista de alimentos autorizados para recibir tratamiento con radiación ionizante en la Unión Europea.

- En la Unión Europea sólo debe autorizarse adicionalmente el tratamiento con radiación ionizante de hierbas, especias y condimentos vegetales siempre y cuando los conocimientos científicos permitan considerarlo seguro y eficaz.

- Antes de que se incluyan productos alimenticios a la lista, debe realizarse un análisis detallado de cada uno de los productos, con pruebas que demuestren que se cumplen claramente todas las condiciones para la autorización de la irradiación de productos alimenticios.

- Se investigue las implicaciones para la salud y la seguridad de los trabajadores que intervengan en la irradiación de alimentos.

- Se fomente el desarrollo y la validación de sustitutos seguros y eficaces de la fumigación química y del metilbromuro para la desinfección de los alimentos.

- Se exija a todos los Estados miembros el chequeo aleatorio de alimentos cada año, para evitar la venta de productos tratados ilegalmente y sin etiquetado, que se publiquen todos los resultados disponibles y que se penalice enérgicamente toda la violación a la legislación.

- Se retiren inmediatamente todos aquellos que se detecten etiquetados indebidamente.

- Se lleven a cabo controles regulares a todos aquellos alimentos y productos alimenticios que sean importados potencialmente irradiados, especialmente cuando se trate de países donde tengan un uso generalizado de la irradiación en los alimentos (Estados Unidos y Brasil) y que se introduzca un mecanismo de sanción para aquellos que no apliquen un control adecuado u oculten información.

- Se lleve a cabo una investigación sobre los efectos a largo plazo sobre la salud de una dieta consistente en gran parte en alimentos tratados, en especial en la salud de los niños.

- Debe aplicarse un proceso de sustitución: los procesos peligrosos deben ser sustituidos por procesos más seguros.

(Page 2)

**Radiological Protection training in health care****M. Alonso, F. Carrera, J.C. Mateos and J.J. Peña**

General and specific training in radiological protection is a basic tool to optimise exposure, which is regulated by different standards and rules. This article analyses the current Spanish situation regarding university radiological protection training in health care.

(Page 12)

**Nuclear Power Station Simulators in Spain (1978 -20003)****E. Ugedo**

To mark the 25th Anniversary of the creation of the Tecnatom Training Centre, this article reviews the different periods of simulation technology as applied to professional training in the nuclear power sector, from commissioning of the first prototypes in the USA to the present.

(Page 20)

**Current situation of Radiotherapy procedures and technology****P. Fernández and A. López**

The fight against cancer is currently being battled on three fronts: radio-

## Resúmenes

therapy, surgery and chemotherapy. In today's world, radiotherapy offers some advantageous characteristics to treat certain kinds of cancer, since enormous strides in technological development have been taken to increasingly adjust the precision and distribution of the dosage to the volume of the tumour.

(Page 27)

**The European Constitution****A. Morales**

The *Convention on the Future of Europe*, convened after the European Council of Laeken, in December 2001, has submitted the complete project to the European Council for a Treaty to create a Constitution for Europe which is aimed at developing an economic and political European Union, defining its specific competencies and the roles of the various national parliaments.

(Page 30)

**Reload shutdown for Nuclear Power Stations in Spain in 2003**

Regarding time reductions in fuel reloading at Spanish nuclear power sta-

tions, the Spanish Nuclear Security Council (CSN), at the request of the Spanish Finance and Treasury Department of the Chamber of Deputies, delivered an instruction, by which power station's owners were urged to establish a detailed planning of reload operations. This article includes the results of this instruction.

(Page 39)

**Permanent Forum on Radiological Protection in hospitals**

The Spanish Nuclear Security Council has absolute authority regarding the radiological protection of workers, public and environment. Within this framework, the CSN/SEPR-SEFM forum must establish a permanent dialogue to improve radiological security and protection of radioactive facilities as well as their efficient operation within hospitals.

(Page 42)

**James Chadwick Nobel Prize for Physics 1935.****Discovery of the neutron**

James Chadwick (1891-1974) was a key figure in the field of nuclear science. Through his studies, he researched the disintegration of atoms by bombarding alpha particles and proved the existence of neutrons.

For this discovery, he was awarded the Nobel Prize for physics in 1935.

## 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*. 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.

