

Revista del CSN / Año I / Número 2
I Trimestre 1997

Seguridad Nuclear



**Gestión de I+D
en el sector eléctrico**

**La epidemiología y los efectos
de las bajas dosis de radiación**

El amplificador de energía

**Optimización de la protección
radiológica en centrales nucleares**

**Nuclear regulation
in the United States**

Seguridad Nuclear

Revista del CSN
Año I / Número 2
I Trimestre 1997

Director

Rafael Caro

Comité de redacción

Agustín Alonso, Alfonso Arias, José A. Azuara, Aníbal Martín, Juan M. Kinde-lán, Carmen Martínez Ten

Noticias**Directora**

Matilde Ropero

Comité

A. Esteban Naudín, G. López Ortíz, Javier Reig, M. Rodríguez Martí, M. F. Sánchez Ojanguren, M. A. Villar Castejón

Secretaría de redacción

Fátima Rojas

Consejo de**Seguridad Nuclear**

Justo Dorado, 11
28040 Madrid
Tf. 346 02 00
Fax. 346 05 58

Diseño y maquetación

ACK Comunicación
Avenida de Burgos, 48. 3ºE
28036 Madrid
Tf. 383 28 33
Fax. 383 29 01

Impresión

Ibergáficas S.A.
Lope de Rueda 11 y 13
28009 Madrid

ISSN: 1136-7806

D. Legal: M. 31.281-1996

Portada: Producción de pla-cas de circuito (The Image Bank).

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

1

Editorial

2

Gestión de I+D en el sector eléctrico

● José Ángel Azuara

10

La epidemiología y los efectos de las bajas dosis de radiación

● Fernando Rodríguez Artalejo, Belén de Andrés Manzano y Juan del Rey Calero

20

El amplificador de energía

● J.A. Rubio y E.M. González-Romero

27

Optimización de la protección radiológica en centrales nucleares

● Patricio O'Donnell, Ignacio Amor y José Luis Butragueño

32

Nuclear regulation in the United States

● Shirley Ann Jackson

39

Noticias

39 Consejo de Seguridad Nuclear / **43** Información general / **44** Tecnología / **44** Centrales nucleares / **45** Ciclo del combustible y gestión de residuos / **46** Protección radiológica / **46** Cursos, reuniones y conferencias / **48** Publicaciones

49

Resúmenes

Editorial

El marco internacional representa un punto de referencia importante para las actividades reguladoras en seguridad nuclear y protección radiológica, por lo que las relaciones con otros organismos de los países occidentales constituyen una prioridad esencial para el Consejo de Seguridad Nuclear. El CSN dedica a este aspecto un sustancial esfuerzo técnico que le permite permanecer en la primera línea de las tendencias internacionales, desarrollando al tiempo su vocación tecnológica mediante la participación en programas de investigación en el campo de la seguridad.

Dentro de ese marco, este segundo número de la revista quiere hacerse eco de la firma, el pasado 20 de septiembre, de un nuevo convenio de colaboración, para el desarrollo de programas de investigación, entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Nuclear Regulatory Commission (NRC) de Estados Unidos. La presencia en el CSN de Shirley Jackson, presidenta de la NRC, resultó una experiencia muy enriquecedora, y su conferencia, que reproducimos textualmente en este número de la revista respetando el idioma original, proporcionó una panorámica de gran interés sobre el organismo regulador estadounidense, que ha sido para el CSN una referencia importante a lo largo de su historia.

Las actividades de investigación y desarrollo llevadas a cabo por el sector eléctrico en nuestro país son también tema destacado de la revista, en un artículo en el que se hace repaso a los esfuerzos realizados en este área en los últimos años. Asimismo, el amplificador de energía presentado recientemente por el investigador Carlo Rubbia, constituye otro eje del contenido técnico de este número de nuestra publicación.

La epidemiología y los efectos de las bajas dosis de las radiaciones ionizantes constituyen un asunto de gran actualidad, del que el CSN no puede mantenerse al margen, así como los esfuerzos que se están llevando a cabo para optimizar la protección radiológica de los trabajadores profesionalmente expuestos.

Finalmente, las páginas de noticias recogen los acontecimientos más recientes y las actividades que el organismo regulador ha llevado a cabo, incluyendo los principales acuerdos que el Pleno del CSN ha tomado en los últimos tres meses. Esperamos que el contenido de la publicación resulte de interés para los lectores y reiteramos nuestro deseo de que contribuya a difundir y ampliar conocimientos sobre las cuestiones que nos preocupan.

Gestión de I+D en el sector eléctrico

Las actividades de investigación y desarrollo tienen mucho que decir en el debate sobre las tecnologías energéticas.

Teniendo en cuenta la dimensión estratégica que posee la energía en las sociedades desarrolladas, el autor defiende

la necesidad de potenciar la investigación en el sector eléctrico para hacer posible la evolución de las tecnologías actuales y el estudio de procesos de generación a partir de materiales y sistemas innovadores.

1. I+D en la empresa

Las empresas sólo consideran esenciales las actividades de I+D cuando contribuyen a la creación e innovación de los bienes o servicios que producen, confiriendo a éstos alguna característica ventajosa –calidad, prestaciones, precio– frente a los de la competencia. Además, debe existir una situación de mercado en la cual los consumidores, mediante la posibilidad de elección, tengan capacidad real para obligar –a la empresa– a realizar un esfuerzo de innovación.

Si no se dan simultáneamente ambas circunstancias no existe un marco favorable para el desarrollo de actividades de I+D. En este sentido es proverbial la pereza con la que se afronta la evolución tecnológica desde regímenes de oligopolio, con la consiguiente obsolescencia de los bienes y servicios que suministran. Por otra parte,

incluso en un marco de competencia, si la investigación no es relevante respecto del producto, y las tecnologías de producción son comunes, tampoco existen condiciones favorables para que se desarrollen estas actividades, aunque en el sector se realicen inversiones importantes en tecnología (bienes de equipo y servicios) de forma sostenida.

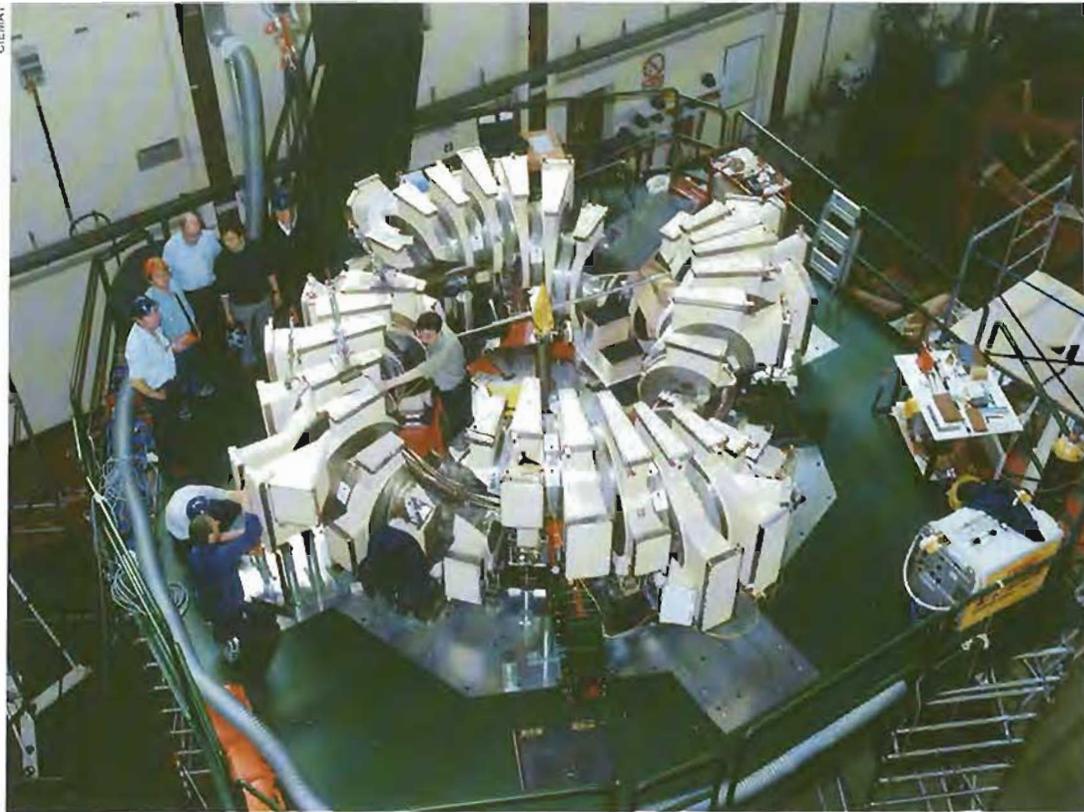
En la medida que utilizan tecnologías complejas, las empresas deben realizar actividades técnicas que procuren garantizar la correcta operación de las instalaciones y optimizar el rendimiento económico. Tales actividades no pueden calificarse como de I+D, aunque en muchos casos requieran la aplicación de conocimientos y de tecnologías sofisticadas, y pueden ser significativas económicamente –proporcionando oportunidades de negocio y desarrollo al sector de suministradores–. Por supuesto, la buena práctica técnica mejora la sensibilidad hacia la investigación y, en términos generales, potencia el desarrollo de núcleos de profesionales especializados.

2. Características del sector eléctrico español

El sector eléctrico español no se rige por las leyes del mercado ya que los ciudadanos, usuarios del servicio, no pueden manifestar sus preferencias respecto del producto que reciben. El modelo tradicional de generación, transporte y distribución de energía eléctrica desarrollado en España responde a una filosofía de explotación unificada en la que, a pesar de respetarse la personalidad e independencia de las empresas, los principios de garantía de suministro, calidad del servicio, universalidad, etcétera, han primado sobre la competencia empresarial, de modo que el sector eléctrico ha operado según un modelo de regulación económica en el que decisiones esenciales respecto a planificación, inversión, financiación, precios, etcétera, están fuertemente influidas por la autoridad administrativa.

En lo que se refiere a las disintas tecnologías de producción de energía eléctrica, hay que recordar que para su elección nunca se han considerado esenciales los factores de competitividad económica o compe-

* Físico, ha sido director general del Ciemat y consejero de Enusa, Enresa, Idac, Itge y Ocide. En la actualidad es consejero del CSN desde octubre de 1995.



► Figura 1. Montaje del último octante de la cámara de vacío del dispositivo experimental de fusión desarrollado por el Ciemat.

tencia empresarial, sino que han primado criterios de servicio público y políticas generales de planificación, tal y como se ha comentado anteriormente. En este sentido es interesante tener en cuenta que, incluso en el marco legal actual, Ley 40/1994 de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional, se considera un objetivo básico “mantener la necesaria diversificación de las fuentes de energía”, con independencia de los costes de producción de cada una de ellas, aceptándose un coste global que corresponde a la integración de la energía en un conjunto único.

La ley, cuya promulgación fue precedida por una directiva comunitaria largamente debatida, apunta una tendencia liberalizadora mediante la creación de un sistema independiente, cuyo desarrollo en el transcurso de los próximos años pretende introducir elementos de competencia empresarial en las actividades de generación de energía eléctrica. Sin terciar en la polémica que con argumentos —y actitudes— mantienen los partidarios de la regulación frente a la liberalización —y viceversa—, resulta pertinente reflexio-

nar sobre las características del modelo de gestión de la I+D energética que ha venido funcionando durante los últimos 10 a 15 años, y sobre si el desarrollo de las nuevas orientaciones invalida los principios básicos en los que se asienta.

3. I+D en el sector eléctrico español

Tradicionalmente las empresas eléctricas han mantenido una cierta lejanía de las actividades de I+D. Esto se demuestra por el hecho de que nunca se han dotado de grandes capacidades de infraestructura humana o material, con excepción de la cualificación necesaria para realizar una correcta operación de las instalaciones y para mantener un cierto nivel de interlocución con las empresas suministradoras y con los órganos reguladores.

A esta lejanía hay que unir una actitud de indiferencia respecto al origen de la tecnología adquirida a compañías, generalmente multinacionales, que se prefieren a las nacionales porque *garantizan* la adquisición. Aunque esta atribución sobre la preferencia puede reputar-

se de exagerada o falsa —en la medida que la opción nacional en muchos casos no ha existido, o no ha sido alternativa real—, impregna habitualmente las decisiones sobre adquisición de tecnología en las empresas, y por su carácter sostenido tiene repercusiones negativas de tipo estructural ya que, al canalizar una parte importante de las inversiones hacia empresas extranjeras, limita el desarrollo del sector nacional de fabricantes de bienes de equipo, e impide o retarda el desarrollo de tecnología propia y el impulso de las actividades de I+D.

Esta respuesta a las necesidades tecnológicas afecta también a los centros de investigación que trabajan en el área energética, ya que para éstos resulta difícil mantener con las empresas una relación técnica que supere el nivel de las prestaciones de servicio por las limitaciones económicas y la exigencia de inmediatez de los resultados. Se dificulta así el proceso de entendimiento y de armonización de las culturas de ambas organizaciones; y se pierde una buena oportunidad para que el centro de investigación

pueda disponer de una *referencia* de actuación a partir de las necesidades empresariales.

Para ilustrar las afirmaciones anteriores cabe citar como ejemplo, en cierto modo histórico, el proceso de utilización de la energía nuclear de fisión como tecnología de producción de electricidad; en este caso es posible *estudiar* el comportamiento de todos los agentes –sector, administración, empresas, etcétera– respecto a las opciones tecnológicas posibles, que en definitiva se decantaron en decisiones que han situado a nuestro país en el nivel de *importador cualificado* de tecnología, a pesar de que el tamaño del parque nuclear español hubiera permitido otros planteamientos. Actualmente, en el ámbito de las energías renovables puede producirse una situación equivalente dentro del proceso de implantación de parques eólicos. Aunque se dispone de una tecnología nacional competitiva, hay una fuerte presión extranjera. Si por razones de velocidad de implantación de los parques, o *garantía* de la adquisición, se realiza una compra masiva de tecnología, se habrá perdido una buena oportunidad de potenciar desarrollos autónomos. En esta hipótesis es previsible que se consoliden algunas empresas españolas de fabricación de componentes bajo licencia y montaje; sin embargo, los diseños no serán nacionales y aceptaremos una subordinación tecnológica innecesaria, perdiendo buenas oportunidades de carácter industrial y comercial.

Esta concepción naturalmente pasiva de las actividades de I+D se ha visto, sin embargo, compensada por la existencia de otros elementos que contribuyen a generar un movimiento positivo. Entre los más relevantes se encuentran la necesidad de realizar una operación correcta de tecnologías y procesos sofisticados –por ejemplo, centrales nucleares–; la optimización del sistema eléctrico, con atención a temas como el alargamiento de vida, los incrementos de rendimiento o la mejora de la

explotación; y, por último, las exigencias asociadas al funcionamiento seguro de las instalaciones y la minimización del impacto ambiental.

Se trata, sin duda, de elementos heterogéneos que producen en el sector una respuesta desigual, porque si bien la optimización es un supuesto natural, al permitir una mayor rentabilización de la inversión, el cumplimiento de las normas de seguridad e impacto ambiental responde a exigencias impuestas y ocasiona costes adicionales que se aceptan con mayor dificultad. De cualquier modo, generan oportunidades para realizar proyectos de I+D de alcance sectorial, ya que se trata de problemas comunes a todas las empresas, y ello posibilita el desarrollo de las acciones cooperativas. Al analizar los mecanismos de organización de la investigación en este sector durante la última década, se observa que ha sido la explotación de esta característica el hecho que ha proporcionado los mayores éxitos, ya que ha permitido enriquecer gradualmente la concepción de la investigación, posibilitando el desarrollo de programas y proyectos de mayor alcance y entidad científica; además, en algunos casos ha servido para crear capacidades de infraestructura tecnológica común, con el consiguiente beneficio colectivo, y ha fomentado la interacción entre los equipos profesionales de las diferentes empresas y la participación de otros agentes esenciales en las actividades de I+D, como universidades, centros de investigación, ingenierías y empresas de servicios. En este sentido existen numerosos ejemplos; circunscritos al ámbito nuclear se pueden citar proyectos de cooperación internacional tan importantes como Loft, Halden, Phebus, Lacey, o programas diseñados para resolver problemas como el comportamiento de los materiales estructurales de la operación de las plantas. En este caso, se ha podido además crear una gran infraestructura técnica común, utilizando un centro público (Ciemat), y obtener re-

sultados útiles para las empresas y de valor científico suficiente para ser apreciados internacionalmente por organizaciones de tanto prestigio como Epr o Framatome

En este mismo ámbito, y desde un punto de vista conceptual, uno de los frutos más evidentes del proceso de maduración de las empresas del sector es la creación en 1994 de la Agrupación Eléctrica para el Desarrollo Tecnológico Nuclear (DTN), en la que participan prácticamente todas las empresas eléctricas (Iberdrola, Endesa, Fecsa, Unión Eléctrica, Compañía Sevillana de Electricidad, Hidroeléctrica del Cantábrico). Los objetivos de esta agrupación representan la voluntad de rentabilizar comercialmente los conocimientos científicos y tecnológicos obtenidos como consecuencia de la ejecución de proyectos de investigación (Peta, Sicom, VITH, CLO2), poder enfrentar desde una posición de mayor conocimiento la evolución de la tecnología nuclear (SBWR/AVWR, AP600, EVR), y participar en los foros internacionales que proporcionen oportunidades de actividad técnica comercial (apoyo tecnológico a países del Este).

El sector eléctrico se comporta, en definitiva, como un usuario cualificado de tecnología, que ha evolucionado de forma positiva en los últimos 15 años, estimulado en parte por la necesidad de realizar una buena gestión de sus activos tecnológicos, las exigencias sociales –seguridad, impacto ambiental–, la madurez adquirida como consecuencia de la experiencia operativa y la visión proporcionada por la integración europea e internacional.

La Ley 40/1994 establece algunos elementos de competitividad a través del sistema independiente, que producirán seguramente una modificación de los criterios de elección de las tecnologías energéticas, de modo que se primarán aquellas que por su madurez económica posean una elevada rentabilidad a corto plazo; en este contexto es difícil pensar que el sector prestará mayor

atención a la investigación si no es estimulado e integrado de algún modo en un sistema que proporcione ventajas o compensaciones adicionales.

4. Necesidades de investigación a largo plazo: el papel de la Administración

En las sociedades desarrolladas la energía posee una dimensión estratégica porque su consumo masivo, necesario para el desenvolvimiento

tecnológico para posibilitar la evolución de las tecnologías actuales, de modo que se obtengan mejoras en aspectos tales como la eficiencia energética, el impacto ambiental o la seguridad. Además, es necesario profundizar en el estudio de procesos de generación a partir de nuevos conceptos que utilicen materias primas alternativas (pilas de combustible, fusión termonuclear) y desarrollar procesos altamente innovadores que permi-

dad, tomar la iniciativa, definir planes de investigación, desarrollar y mantener las infraestructuras técnicas y humanas necesarias, y fomentar y coordinar el desarrollo de las actividades de I+D.

A lo largo de los últimos 15 años han existido diferentes planes de investigación que acompañaban a los planes energéticos, el último de los cuales (1991-2000) contiene también un capítulo relativo a esta materia. Aunque su cumplimiento en la práctica ha sido desigual, daban cuenta al menos de la existencia de una voluntad de planificación con un reconocimiento de que la I+D en el sector energético necesita el soporte público en una acción sostenida y organizada. Después de unos años de cierta atonía, y con un propósito de revitalización, en 1994 la Secretaría General de la Energía del Ministerio de Industria y Energía desarrolló un importante esfuerzo para definir un conjunto de estrategias de actuación tecnológica, con amplia participación de todos los agentes, en lo que ha sido sin duda la iniciativa más completa para disponer de una visión de conjunto de las necesidades tecnológicas del sector y definir prioridades de I+D. Se pretendía potenciar las capacidades de los centros de investigación y de los suministradores de bienes y servicios. Lamentablemente, la iniciativa no ha sido continuada por los siguientes equipos energéticos, a pesar del indudable valor de la documentación producida que, por otra parte, se utiliza constantemente como referencia; así, por ejemplo, el sector eléctrico, al definir el *Plan de actuaciones conjuntas de las centrales nucleares españolas (2/1996)*, utiliza como base los resultados obtenidos en las Unidades Estratégicas Tecnológicas (UET) del área nuclear.

En cualquier caso, numerosas razones aconsejan la existencia de una planificación de las actividades, ya que las posibilidades de actuación de nuestro país en el desa-



► Figura 2. Sistema Auger de análisis de superficie del Ciemat.

normal de las actividades, determina que los aspectos relativos a seguridad de suministro, precio, utilización de materias primas, etcétera, deban ser tenidos en cuenta mediante políticas estructuradas que poseen, por otra parte, importantes repercusiones de carácter económico y social.

Los aspectos que confieren a la energía una dimensión estratégica trascienden del ámbito de las actividades de I+D; sin embargo, una parte importante de la problemática que actualmente impregna los debates sobre las distintas tecnologías energéticas sólo podrá ser resuelta a medio y largo plazo mediante soluciones obtenidas desde la investigación.

Las necesidades se sitúan, por una parte, en el ámbito de la inno-

vanación tecnológica para posibilitar la evolución de las tecnologías actuales, de modo que se obtengan mejoras en aspectos tales como la eficiencia energética, el impacto ambiental o la seguridad. Además, es necesario profundizar en el estudio de procesos de generación a partir de nuevos conceptos que utilicen materias primas alternativas (pilas de combustible, fusión termonuclear) y desarrollar procesos altamente innovadores que permi-

tan usar materias primas convencionales con niveles de eficiencia cualitativamente distintos (gasificación subterránea de carbón). En el momento actual no hay ninguna tecnología de generación de energía exenta de limitaciones, y existe un amplio consenso sobre el hecho de que la utilización equilibrada y combinada de todas las actuales debe ser acompañada de un esfuerzo de investigación y desarrollo que permita, en un horizonte no definido todavía, disponer de nuevas soluciones.

Las exigencias de actuación que se derivan de estos planteamientos trascienden de las responsabilidades del sector, y se sitúan claramente en el ámbito de la Administración, que debe, de acuerdo con el carácter estratégico de la activi-

rollo de nuevos conceptos y sistemas energéticos son limitadas; en parte porque lo son nuestras capacidades tecnológicas y nuestra experiencia y, también, porque la industrialización y comercialización exigen unas dimensiones notablemente superiores a las de nuestras empresas. Por ello, en términos generales, la presencia española en el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas debe realizarse a través de la fórmula de coparticipación internacional, para la que el actual contexto de integración ofrece las posibilidades debidas, aunque la escasez de recursos y la limitación de capacidades obligue a realizar una selección adecuada de temas. Este aspecto, que presenta un gran interés práctico, determina que la Administración juegue un papel de seleccionador y coordinador activo para aglutinar los intereses del conjunto —empresas energéticas, ingenierías, suministradores, centros de investigación—, de forma que se optimice la participación española. De otro modo, se incurre en el riesgo de que las iniciativas estén muy condicionadas por operaciones de *marketing* desarrolladas por las multinacionales, que ofrecen posibilidades de participación con beneficios inmediatos para los distintos agentes, aunque tal participación no posea siempre valor tecnológico e incluso sea nuestro propio país quien la financie. En este sentido, existen ejemplos en torno a proyectos de centrales avanzadas (periodo 1991-1994) en los que la fragmentación de intereses contribuyó a la toma de decisiones sin que los planteamientos generales fueran suficientemente beneficiados.

La Administración debe asimismo tutelar la posibilidad de realizar un desarrollo tecnológico autónomo, que en algunos ámbitos puede proporcionar oportunidades industriales y comerciales. Los estudios realizados por las UET para todo el sector energético identificaban dos áreas de actividad im-

portantes. La primera, en el sector de las energías renovables, asequible tecnológicamente y con la ventaja de que su aportación a la oferta energética no es tan urgente como para exigir la compra de tecnología extranjera. La segunda está en relación con la tecnificación de la distribución de los servicios, con objetivos tales como la gestión de la demanda, la medición a distancia o la discriminación horaria, que representan una oportunidad de desarrollo en la que pueden participar tanto las empresas como los suministradores y las unidades de investigación, y en la que ya existen éxitos demostrados.

Además de definir políticas y fomentar la actividad, la Administración debe crear y mantener las infraestructuras y los recursos humanos necesarios para el desarrollo de la investigación; ello exige la existencia de centros públicos (Cimat, Itge, etcétera) en los que deben residir las grandes infraestructuras, en torno a las cuales han de desarrollarse simultáneamente los grandes proyectos patrocinados por la Administración, y proyectos aplicados a resolver los problemas inmediatos de las empresas. Este tipo de centros debe constituir, además, el eslabón de acoplamiento que permita compatibilizar la visión aplicada de la empresa con el profundo pero disperso universo del conocimiento científico propio de la Universidad.

A pesar de que su concurso es imprescindible, lo cierto es que la voluntad de la Administración tiende a flaquear, a menudo porque la problemática energética se sitúa con mayor urgencia en otros planos; también por las constantes limitaciones presupuestarias, que tienen un efecto desmovilizador muy acusado. A lo largo de los últimos 12 años, la Administración sólo ha impulsado con fuerza las actividades de I+D en dos etapas: en 1983, con una política bien definida que permitió crear nuevas

infraestructuras como el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (Idae), el Instituto de Energías Renovables (IER) y las Oficinas de Coordinación de la Investigación (OCI), y la transformación de organismos como la Junta de Energía Nuclear; más tarde, en 1994, con una reflexión sistemática a la que ya se ha aludido (UET), cuyo objetivo interesó por igual a empresas energéticas, suministradores y centros de investigación, pero cuyas conclusiones no han servido para elaborar un plan que constituya el hilo conductor de las actuaciones de los próximos años.

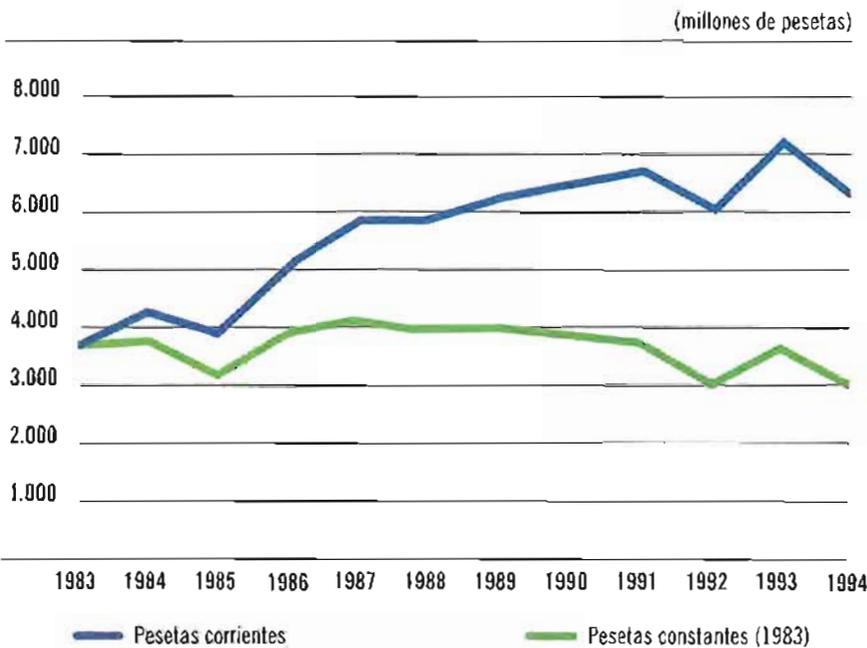
En cuanto al desarrollo de capacidades se refiere, el análisis de las asignaciones presupuestarias de la institución pública más representativa en materia de I+D energético, el Cimat, demuestra una congelación del esfuerzo de sostenimiento económico, lo que en pesetas constantes representa una pérdida real de poder adquisitivo del mismo orden que la inflación de este área de actividad (figura 3).

El constante ajuste presupuestario a que han sido sometidas las actividades de I+D —no exclusivamente energéticas— como consecuencia de las necesidades generales, y que parece mantenerse para los años próximos 1997 y 1998, permite augurar que se acentuará el proceso de deterioro, con pérdida de potencialidad tecnológica y tensión en el entramado organizativo. En la práctica se producirá un empobrecimiento en las infraestructuras y se perderán oportunidades de participación en proyectos de interés y envergadura que requieran financiación sostenida.

5. Organización de las actividades de I+D

La organización de las actividades de I+D debe procurar la mayor participación posible de todos los agentes: de las empresas eléctricas, porque en ellas reside el potencial

Figura 3. Aportaciones del Estado al presupuesto del Ciemat



Fuente: Ciemat

económico y de demanda, aunque finalmente sólo sean usuarios tecnológicos; de los suministradores de bienes y servicios (fabricantes de bienes de equipo, ingenierías, empresas de servicios), para los que deben generarse oportunidades de negocio y de fortalecimiento de alianzas comerciales y tecnológicas a nivel nacional e internacional; finalmente, de las unidades de investigación (universidades y organismos públicos de investigación), que deben ser capaces de combinar la realización de proyectos a largo plazo de interés general, con el apoyo tecnológico a suministradores y usuarios.

Este esquema, aunque simple en su enunciado, es imposible si no existe una función de coordinación situada en un ámbito neutral que reúna ciertas características: debe ser estable en el tiempo, para acumular conocimiento y experiencia; aceptada por todos los agentes, y además gozar de interlocución de rango suficiente para que sus directivas y referencias sean de obligado cumplimiento. Se trata por tanto de una coordinación que no debe ser realizada por un agente (Administración, sector,

otros) en exclusiva, aunque todos participen.

A través de esta función de coordinación se formula un sistema intervencionista que confiere a la innovación tecnológica una dimensión estratégica, y que no considera posible que la dinámica natural de los intereses empresariales pueda ser el elemento impulsor principal. Se trata también de un sistema que reconoce las misiones propias de los distintos agentes, y no espera que se produzcan comportamientos ajenos a sus intereses. Por último, este modelo, a diferencia del sistema general de ciencia y tecnología español, limita el número de participantes y ordena las relaciones entre ellos. Aunque ambas características puedan ser criticables, desde una perspectiva de aparente igualdad de oportunidades, lo cierto es que la I+D energética no debe plantearse como un programa de promoción del conocimiento y por ello no son útiles los instrumentos propios (convocatorias abiertas, proyectos de interés genérico, etcétera) de la gestión de estos últimos.

Una aproximación organizativa de estas características ha esta-

do vigente en España en los últimos 10 años; su construcción se realizó mediante un proceso gradual, cuyo origen se remonta a 1980, y que culminó en 1985, alcanzando un reconocimiento formal que mereció incluso una valoración positiva por parte del Parlamento español en la revisión de las actividades de I+D energéticas en dicho año.

Actualmente el sector eléctrico-energético no dispone de un sistema organizativo y de gestión de estas actividades. Las últimas modificaciones intentadas durante 1994 y 1995, conocidas coloquialmente como *Programa Estela*, no han tenido plasmación práctica. En estos momentos existe un cierto vacío organizativo del que sólo es posible salir si se impulsa la articulación de un nuevo sistema, que cualquiera que sea su organización debería tener en cuenta los siguientes aspectos:

– Sacar el máximo partido posible de la naturaleza sectorial de ciertos temas, para fomentar actividades cooperativas que permitan:

- Estimular la participación de las empresas energéticas.
- Integrar a los distintos agentes.
- Incentivar la participación de otro tipo de organismos: CSN, etcétera.

– No renunciar al desarrollo tecnológico autónomo en todos los ámbitos en que sea posible, prestando especial atención a temas como:

- Optimización del sistema energético.
- Energías renovables.

– Definir una estrategia de participación en programas internacionales que conjuguen aspectos como:

- La necesidad de acceder a la propiedad de nuevos conceptos y tecnologías energéticas.
- Fortalecer tecnológica y económicamente al sector de suministradores de bienes y servicios y a las unidades de investigación.
- Mantener un nivel de inversión que evite pérdidas de potenciali-

dad tecnológica y tensión del entramado organizativo.

6. Financiación de las actividades de I+D

Cualquier fórmula organizativa que no resuelva el problema de la financiación de modo estable no es viable en la práctica. Parece por tanto oportuno reflexionar sobre este aspecto tan importante y específico, toda vez que en nuestro país ha existido hasta muy recientemente un sistema singular apreciado y reconocido a escala nacional e internacional.

En general la financiación de una actividad no debe ser solamente un factor que posibilite su ejecución; debe ser, también, un agente con capacidad de ordenación que además de establecer prioridades permita asignar cometidos en función de los roles naturales de los agentes. Esta segunda característica, menos importante en los programas de promoción general del conocimiento, es relevante en el ámbito energético, y se resuelve mejor cuando existen incentivos de financiación. Parece lógico que esta ordenación sea realizada por los agentes financiadores, que tendrán en buena lógica la función coordinadora.

La financiación energética corre en España a cargo de la Administración en todo aquello que significa creación y desarrollo de infraestructuras; desde allí deben ser soportados los programas de (I+D) de envergadura científica, tecnológica y económica. Por otra parte, las empresas realizan muchas actividades técnicas orientadas a la optimización del sistema que en algunos casos derivan hacia proyectos de mayor ambición.

En este esquema, la financiación responde a las responsabilidades atribuibles a las funciones propias de cada agente, pero carece de virtualidad ordenadora e integradora. Además, existen situaciones de difícil solución cuando participan agentes poco proclives a financiar

Figura 4. Gastos gubernamentales en I+D energético

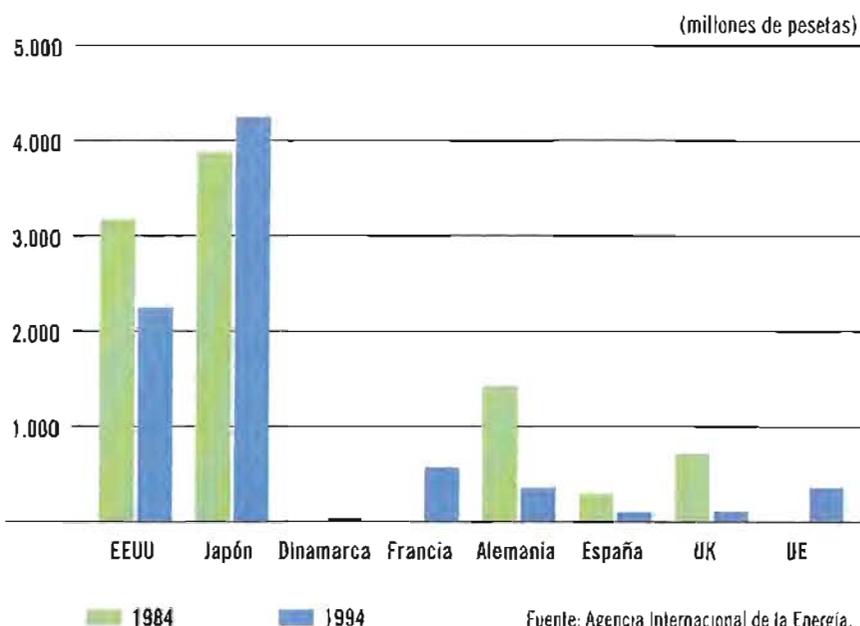


Tabla 1. Programas de I+D desarrollados por Ocide (millones de pesetas)

Proyectos	Número de proyectos	Presupuesto (Mpta)	Aportación fondo (Mpta)
1. Sistema eléctrico	341	37.196	25.604
2. Combustibles fósiles	181	37.955	11.798
3. Generación nuclear	81	18.980	10.407
4. Usos de la electricidad	71	2.604	1.838
5. Energías renovables	190	18.101	10.962
6. Diversos y gestión	98	10.377	8.198
Total	962	125.213	68.807

actividades de I+D, como el sector de suministradores, o en el caso de iniciativas de propósito múltiple que potencialmente pueden atraer a distintos agentes, aunque no exista un interés específico para su financiación. Estos casos pueden resolverse mediante la creación de un fondo económico, gestionado por los agentes financiadores.

A primera vista parece tentador que la Administración asuma la responsabilidad de creación y gestión de ese fondo, aunque en la práctica la escasez de recursos económicos hace difícil su sostenimiento estable (figura 4). Por otra parte, la financiación y coordinación unilateral produce siempre reacciones pasivas, e incluso abusi-

vas, de los otros agentes. Para resolver estos inconvenientes, en un sector como el eléctrico, en el que existe potencial económico suficiente, podría pensarse en un fondo multifinanciado por la Administración y las empresas energéticas, con el concurso de entidades como Enusa y Enresa, y que serviría para desarrollar proyectos de interés común. En este esquema podría considerarse también la participación del CSN en aquellos temas relacionados con su actividad.

En España hasta el presente ha existido un modelo instrumentado mediante órganos de gestión sectorial, aunque su financiación responde a criterios diferentes a los enunciados aquí. La oficina más impor-

► **Tabla 2. I+D en energía por organizaciones (1996)**

Organizaciones	Mpta	% Total	
Administración	Ciemat	9.767	55,7
	Ministerio de Industria y Energía	314	1,8
	Itge	156	0,9
	Total	10.237	58,4
Ocis	Ocide	6.126	34,9
	Ocicarbon	605	3,4
	Ocigas	470	2,7
	Ocipetrol	106	0,6
	Total	7.307	41,6
Total general	17.544	100	

Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

tante ha sido la correspondiente al sector eléctrico (Ocide), cuyas áreas de actividad han abarcado los campos de generación, transporte, distribución y uso de energía. Su contribución económica, cifrada en torno a 6.000 millones de pesetas anuales, ha representado la única fuente de financiación no ligada al

presupuesto y no condicionada por el sostenimiento de infraestructuras gravosas. Los programas gestionados por Ocide, según se refleja en la tabla 1, han permitido el desarrollo de 962 proyectos, con una aportación económica de 68.807 millones de pesetas y una capacidad de movilización de recursos

hasta un total de más de 125.000 millones de pesetas. Su desaparición reducirá sensiblemente las fuentes de financiación, con el consiguiente efecto desmovilizador, ya que ni las aportaciones de la Administración, ni las otras de entidades (Enresa, Enusa, CSN, sector) pueden suplir la contribución de Ocide. Según datos recogidos por la Agencia Internacional de la Energía en su informe sobre la política energética española (1996), Ocide representa el 35% del presupuesto español dedicado a investigación energética (tabla 2).

Si alguna conclusión puede derivarse de las consideraciones anteriores, sería la urgente necesidad de articular de nuevo un sistema organizativo, para gestionar las actividades de I+D en el sector eléctrico, y en general energético, que evite pérdidas de potencialidad tecnológica. En este cometido la Administración tiene un papel crucial, al menos en la coordinación inicial, que no debería eludir. 

La epidemiología y los efectos sobre la salud de las bajas dosis de radiaciones ionizantes

Este artículo describe el concepto y objetivos de la epidemiología, sus métodos y su contribución al conocimiento de los efectos de las bajas dosis de radiaciones ionizantes sobre la salud. Asimismo se describen

las ventajas y limitaciones de los estudios epidemiológicos para conocer las consecuencias de vivir cerca de instalaciones nucleares, y los efectos de la exposición profesional a las radiaciones.

1. Epidemiología: concepto y objetivos

La epidemiología es la disciplina científica que estudia la frecuencia y distribución de fenómenos relacionados con la salud y sus determinantes en poblaciones específicas, y la aplicación de este estudio al control de problemas de salud (Last, 1995).

El término *disciplina* alude a un cuerpo de conocimientos recogido en libros. El término *científico* se refiere a que dichos conocimientos fueron obtenidos a través de un camino sistemático o método, que pretende garantizar cierta validez y reproducibilidad. El término *estudio* incluye las investigaciones caracterizadas por la simple vigilancia y observación de fenómenos para medir su magnitud y sugerir

hipótesis sobre su origen. Este tipo de investigaciones reciben el calificativo de *descriptivas*. Pero también incluye las investigaciones dirigidas a contrastar estas hipótesis mediante estudios observacionales y experimentales. Estas investigaciones reciben el nombre de *analíticas* (Rey Calero, 1996). *Distribución* significa la medida de la frecuencia de un fenómeno en grupos de población a lo largo del *tiempo*, en diferentes *lugares* o formados por distintos tipos de *personas*.

La epidemiología no sólo estudia enfermedades sino *todo tipo de fenómenos relacionados con la salud*, entre los que se encuentran causas de muerte como los accidentes o suicidios, hábitos de vida como el consumo de tabaco o la higiene bucodental, y el uso de servicios de salud, entre otros. Los *determinantes* de estos fenómenos son todos los factores físicos, biológicos, sociales, culturales y de comportamiento que influyen sobre la salud (Last, 1995). Los fenómenos relacionados con la salud y sus posibles determinantes dan lugar a

algunas clasificaciones de las ramas de la epidemiología. Así, cuando el eje de clasificación son los fenómenos de salud surgen ramas como la epidemiología cardiovascular, del cáncer o de los servicios sanitarios; cuando el eje son los determinantes surgen la epidemiología nutricional, laboral o social. Por último, la epidemiología es una disciplina básica de la salud pública y de la medicina clínica, porque sus conocimientos son útiles para el control de problemas de salud (Gálvez Vargas *et al*, 1991).

Sin embargo, el rasgo que más diferencia a la epidemiología de otras disciplinas biológicas es el estudio de la frecuencia de fenómenos en grupos de sujetos, en poblaciones (Benavides y Segura, 1995). Mientras que las ciencias experimentales en el laboratorio estudian, sobre todo, relaciones *deterministas* o no estocásticas, la epidemiología se centra en relaciones *probabilistas* o estocásticas. En epidemiología, los potenciales factores etiológicos pueden, en un caso concreto, producir o no producir una

¹ Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad del País Vasco.

² Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad Autónoma de Madrid.

³ Centro Universitario de Salud Pública (CUSP). Universidad Autónoma de Madrid.

enfermedad. Así, una persona que fuma puede o no desarrollar un cáncer de pulmón, siendo la segunda posibilidad algo más frecuente que la primera. En situaciones de escasa higiene bucodental puede o no desarrollarse una enfermedad periodontal, pero la primera situación es la más frecuente. Nuestros factores causales aumentan la frecuencia o probabilidad de desarrollar una enfermedad –son factores de riesgo–, pero no aseguran su desarrollo. Para poner de manifiesto su efecto se necesitan grupos de personas en los que medir la frecuencia de la enfermedad, y compararla entre los expuestos y no expuestos al factor etiológico. En los estudios experimentales de laboratorio se suelen abordar relaciones deterministas. En ellas el factor causal es suficiente para producir su efecto. Siempre que alguien se exponga a él sufrirá su efecto. Para ponerlo de manifiesto bastará con estudiar un solo sujeto.

La distinción entre relaciones probabilistas y deterministas es conocida desde antiguo. Una de las descripciones más frecuentes se encuentra en el estudio de los efectos de las radiaciones ionizantes, uno de los factores etiológicos más investigados por la ciencia, tanto en el laboratorio como en epidemiología. Dosis altas con elevadas tasas

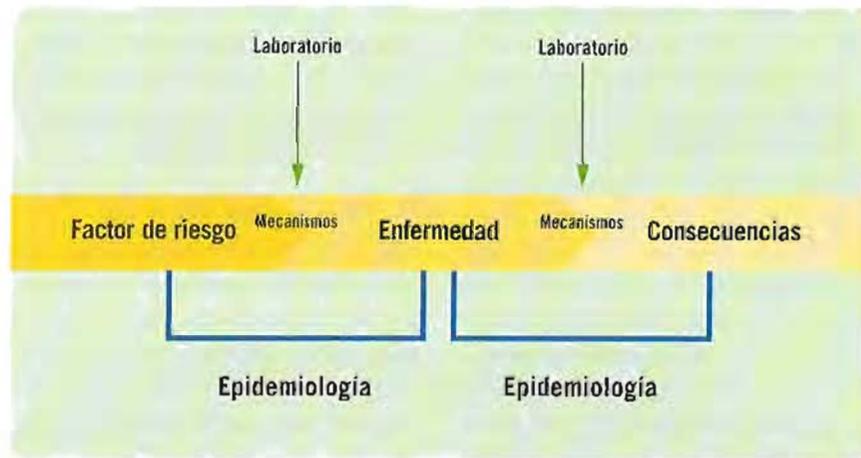


Figura 1. Relaciones de estudio por la epidemiología y las disciplinas experimentales de laboratorio. Tomada de Rodríguez Artalejo *et al*, 1995.

de exposición producen efectos deterministas. Dosis muy bajas recibidas de forma crónica dan lugar a efectos probabilistas (United Nations Environmental Programme, 1985). Las características de estos tipos de efectos se presentan en la tabla 1.

Típicamente los científicos de laboratorio exploran los numerosos mecanismos patogénicos o de resistencia de la enfermedad. Los mecanismos, a modo de los componentes de un engranaje, tienen un carácter inmediato o cercano entre sí y, por tanto, las relaciones de interés pueden verse como deterministas. Por su parte, el epidemiólogo estudia de una sola tacada la relación entre va-

riables más o menos distales y la aparición de enfermedad y su evolución (figura 1). Las variables son tan lejanas entre sí que sus efectos tardan más tiempo en producirse –tiempo de inducción largo– y sólo se concretan en presencia de terceras variables intermedias. Por ello, las relaciones entre dichas variables son probabilistas.

Cuanto más se alejan las variables de resultado de las de exposición, las relaciones se hacen además menos específicas (Marmot y Morris, 1984). Un ejemplo de ello se encuentra en la epidemiología social, donde los factores de exposición, variables socioeconómicas, tienen un efecto variable y con tiempos de inducción también diferentes sobre un amplio espectro de enfermedades. Junto a estos abordajes extremos también observamos otros intermedios y complementarios, en los que las variables de exposición en epidemiología se acercan, en la cadena causal, a las variables resultado. Es el caso de la epidemiología molecular (Schulte y Perera, 1993; McMichael, 1994).

Por último, los dos abordajes de estudio son complementarios. La mayoría de los agentes nocivos para la salud que conocemos y son modificables han sido identificados por estudios epidemiológicos. Es el caso del tabaco, la hipertensión ar-

Tabla 1. Principales características de los efectos estocásticos y los deterministas

Efectos estocásticos	Efectos deterministas
Probabilidad del efecto depende de la dosis de exposición.	Probabilidad del efecto <i>no</i> depende de la dosis de exposición. La probabilidad es <i>cero o uno</i> .
Intensidad del efecto <i>no</i> depende de la dosis de exposición.	Intensidad del efecto depende de la dosis de exposición.
Efecto <i>sin</i> umbral de dosis de exposición.	Efecto <i>con</i> umbral de dosis de exposición.
Frecuentemente tiempo de inducción <i>largo</i> .	Frecuentemente tiempo de inducción <i>corto</i> .

Modificado de ICRP 26, 1977.

terial, la hipercolesterolemia, muchos carcinógenos laborales, etcétera. La epidemiología representa a menudo la única posibilidad de *estudiar directamente en humanos los efectos sobre la salud de potenciales factores etiológicos*, evitando la extrapolación de resultados desde animales y otros modelos de investigación al hombre. Sin embargo, los estudios epidemiológicos enriquecen sus resultados con la plausibilidad biológica derivada de los abordajes de laboratorio (Rodríguez Artalejo *et al.*, 1995).

Los estudios experimentales de los efectos de potenciales factores de riesgo no siempre son factibles o éticos en seres humanos. Por ello, los investigadores se limitan a *observar* a sujetos espontánea o voluntariamente expuestos a dichos factores. La naturaleza observacional de muchos estudios determina a menudo una limitación en la calidad de las mediciones a realizar, en la selección de sujetos y en la capacidad para descartar posibles explicaciones alternativas para los resultados de los estudios. Por ello, es necesaria cierta prudencia en la interpretación de los resultados de un único estudio epidemiológico. Asimismo, el valor de los resultados de dicho estudio es mayor cuando se dan las siguientes circunstancias. Primero, los resultados son consistentes con los de estudios previos; segundo, son plausibles a la luz de otras disciplinas biológicas, como las experimentales en el laboratorio; tercero, el efecto del factor de riesgo es bastante grande, por lo que no es probable que todo el efecto medido se deba a otras causas; cuarto, hay una relación dosis-respuesta creciente entre la exposición al factor de riesgo y su efecto sobre la salud (Hill, 1965).

Por último, las evidencias epidemiológicas sólo son uno más de los elementos a valorar en una política de control de un problema de salud mediante la modificación del factor de riesgo, sea un hábito de vida o un factor ambiental. También se deben

tener en cuenta los valores y las necesidades percibidas por la población, y los costes de la intervención, entre otros factores (Rodríguez Artalejo *et al.*, 1989).

2. Principales tipos de estudios epidemiológicos

Investigar es responder preguntas. En el campo de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la salud, las dos preguntas más frecuentes son: ¿existe un número de casos de un problema de salud superior al normal o esperado? Y, de ser así, ¿el exceso de casos es atribuible a la exposición a radiaciones ionizantes?

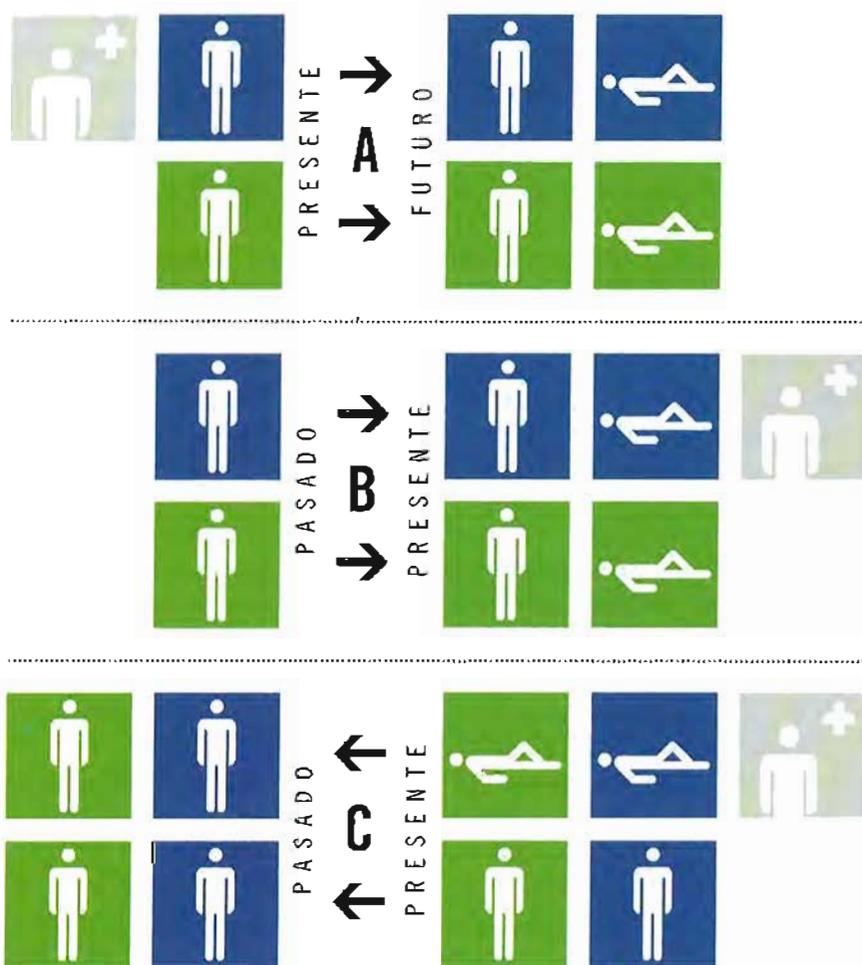
Para responderlas, la epidemiología, al igual que la mayoría de la disciplinas empíricas, mide los fenómenos de interés y los compara entre grupos de sujetos. La medida más típica en epidemiología recibe el nombre de *incidencia* de enfermedad (o problema de salud). La incidencia es la probabilidad de aparición de casos (nuevos) de enfermedad. Para medirla se sigue a un grupo de sujetos libres de la enfermedad y se observa cómo la adquieren a lo largo del tiempo. Hay dos formas de calcular la incidencia. En la primera se divide el número de casos aparecidos entre el número de sujetos libres de ella al inicio del seguimiento. Es la llamada incidencia acumulada y mide el riesgo o probabilidad individual de enfermar. En la segunda forma se divide el número de casos aparecidos entre la suma del tiempo de observación de cada uno de los sujetos (personas-año), de forma que cada persona aporta una determinada cantidad de tiempo al estudio, generalmente hasta que enferma. Es la llamada densidad de incidencia, y mide la fuerza de aparición de la enfermedad. Es la forma más perfecta de medir la incidencia porque relaciona el número de casos de enfermedad con el número de personas en riesgo y además con el tiempo hasta desarrollarla. Sin embargo, resulta menos intuitiva que

la incidencia acumulada y su cálculo es algo más complicado, pues hay que registrar la aparición de enfermedad y además su fecha.

Para saber si la incidencia de una enfermedad es superior a la *normal* se compara con la que se espera en condiciones habituales. Hay dos criterios para definir lo normal. El primero es la incidencia de enfermedad en una zona geográfica, momento en el tiempo o conjunto de personas, similar al grupo de estudio en todos los determinantes de la enfermedad (edad, género, nivel socioeconómico, hábitos de vida, medio ambiente, etcétera) excepto el posible factor de interés (vivir en la proximidad de una instalación nuclear o ser un trabajador profesionalmente expuesto a radiaciones ionizantes). El segundo criterio de normalidad es la incidencia de la enfermedad en ausencia de motivos sistemáticos para su concentración en el tiempo o en el espacio, es decir, la incidencia de enfermedad que pueda ser explicada simplemente por el *azar*. Desgraciadamente, el azar también puede explicar cierta variación –incluido el aumento– en el número de casos de una enfermedad. Para estar razonablemente seguros de que el azar no es responsable de un aumento en la incidencia, éste tendrá que ser bastante grande o medirse en una población de bastante tamaño.

Para responder a la segunda pregunta (¿el exceso de casos es atribuible a la exposición a radiaciones ionizantes?) se compara la incidencia de enfermedad en grupos de sujetos con diferente nivel de exposición a radiaciones ionizantes. Si la incidencia de enfermedad es mayor en los expuestos que en los no expuestos a radiaciones ionizantes, se habrá observado una relación entre la exposición y la enfermedad.

La forma de seleccionar a los sujetos permite clasificar los principales estudios epidemiológicos. En los *estudios de cohortes*, también llamados de seguimiento, se selecciona a un grupo de sujetos libres



► Figura 2. Representación esquemática de: a) estudio de cohortes prospectivo; b) estudio de cohortes retrospectivo; c) estudio de casos y controles. Figura azul: sujetos expuestos al factor de interés. Figura verde: sujetos no expuestos al factor de interés. Figura vertical: sujetos sanos. Figura horizontal: sujetos enfermos. Figura del médico: posición del investigador en cada uno de los estudios.

de la enfermedad en los que se mide la exposición a posibles determinantes de la misma. Se les sigue a lo largo del tiempo y se compara la frecuencia con que aparece la enfermedad entre los expuestos y no expuestos a cada uno de los potenciales determinantes. En los *estudios de casos y controles* se selecciona a sujetos con la enfermedad de interés –los casos– y a sujetos sin ella –los controles–, y se compara en ambos grupos la frecuencia de exposición a cada uno de sus potenciales determinantes (figura 2). Si la exposición es mayor en los casos que en los controles, la enfermedad y ese potencial determinante están relacionados.

Los estudios de cohortes son adecuados para el estudio de enfermedades frecuentes de las que ya hay ciertas evidencias sobre sus posibles determinantes. Cuando la enfermedad es infrecuente, resulta más eficiente realizar un estudio de casos y controles, que se inicia seleccionando a sujetos enfermos a partir de registros de dicha enfermedad, con lo que se evita el tiempo y el coste de seguir a un grupo de sujetos para identificar un número suficiente de enfermos.

Una forma de reducir los costes y la duración de un estudio de cohortes es realizarlo de forma retrospectiva. El término se refiere a la relación temporal entre la variable de

resultado y la recogida de datos por el investigador. Si se inicia la recogida de datos antes de la aparición de la variable resultado, el estudio es *prospectivo*. Cuando ocurre al contrario es *retrospectivo*. En los estudios de casos y controles, la variable resultado es la exposición a los potenciales determinantes de la enfermedad. Como el estudio se inicia seleccionando los casos y los controles, la variable resultado siempre tiene lugar en el pasado. Los estudios de casos y controles son siempre retrospectivos. En los estudios de cohortes la variable resultado es la aparición de enfermedad. Cuando el estudio se inicia midiendo la exposición y luego se sigue a los sujetos a lo largo del tiempo hasta identificar a los que enferman en el futuro, el estudio es prospectivo. Sin embargo, también es posible seleccionar un grupo de personas libre de enfermedad, reconstruir su seguimiento en el pasado e identificar los casos de enfermedad y muerte que tuvieron lugar a lo largo del tiempo. Es un estudio de cohortes retrospectivo (figura 2). Por ejemplo, el estudio de mortalidad entre los trabajadores de la Junta de Energía Nuclear (JEN) es un estudio retrospectivo. El estudio se inició en 1989 y en él se seleccionó a todos los trabajadores que tuvieron una relación laboral estable con la JEN (son la cohorte de la JEN). A continuación se reconstruyó el seguimiento de los mismos desde 1954 a 1986 y se identificaron las muertes ocurridas en dicha cohorte a lo largo de los 32 años de seguimiento, de tal forma que en 1990 ya se dispuso de los resultados del estudio (Rodríguez Artalejo *et al*, 1990). A partir de aquí se ha continuado el seguimiento de la cohorte de forma prospectiva, es decir, los investigadores hemos recogido los datos de mortalidad de los trabajadores de la JEN hacia el futuro, según se han ido produciendo las defunciones (Rodríguez Artalejo *et al*, 1997).

El carácter prospectivo o retrospectivo está relacionado con la

calidad de la información. La información recogida retrospectivamente suele tener menos calidad ya que es necesario aprovechar la almacenada en el pasado por personas diferentes a los investigadores con objetivos distintos a los del estudio. Es posible que no se disponga de información de ciertas variables de interés, por ejemplo, sobre otros determinantes de la enfermedad diferentes a los de estudio. Esta información es importante para asegurarse en el análisis de los datos de que dichos determinantes se han equilibrado adecuadamente entre los dos grupos de comparación —los expuestos y no expuestos al factor de interés—. También es posible que las variables de estudio no se midieran con las técnicas adecuadas en el pasado o que la información no se haya recogido para muchos sujetos de la cohorte. Los estudios de cohortes retrospectivos son frecuentes en el campo de la epidemiología laboral, ya que se suele contar con registros de datos de los reconocimientos médicos periódicos de los trabajadores y medidas de la exposición de carácter ambiental o individual. Estos estudios son un medio más rápido y barato que los estudios prospectivos para responder una pregunta de investigación. Sin embargo, hay que lograr un equilibrio entre la reducción de costes y tiempo, y la previsible reducción del valor del estudio por posibles mermas en la calidad de la información.

Los resultados de los estudios de cohortes suelen presentarse en forma de *riesgo relativo* (RR). El RR es la incidencia de enfermedad en los expuestos dividida entre la incidencia en los no expuestos al potencial determinante. Es una medida de la fuerza de la asociación entre el potencial determinante y la enfermedad, y representa el número de veces que es más frecuente enfermar si se está expuesto que si no se está. Otra medida de la fuerza de la asociación

es la *razón estandarizada de morbilidad (o mortalidad)* (RME). Se calcula dividiendo el número de enfermos observados entre los expuestos por el número de enfermos que sería de esperar en la cohorte de no expuestos si tuvieran los mismos determinantes de enfermedad excepto la exposición de interés. La RME es una forma de ajustar el efecto de la exposición de interés —por ejemplo las radiaciones ionizantes— por predictores de la enfermedad que no se distribuyen de forma similar en los expuestos y no expuestos. Permite, por tanto, reducir los problemas de comparabilidad que suelen existir en un estudio de carácter observacional, como se señaló antes. Por último, el *odds ratio* (OR) es la medida del efecto más habitual en los estudios de casos y controles. Aunque en este diseño no es posible medir la incidencia de enfermedad, el OR constituye un estimador habitualmente no sesgado del RR y se interpreta de la misma manera.

3. Riesgo de cáncer en la proximidad de instalaciones nucleares

En noviembre de 1983 un documental de televisión sugirió un exceso de leucemias infantiles y otros tumores en Seascale y otras zonas próximas a la instalación nuclear de Sellafield, en la costa de Cumbria en el Reino Unido. Ante la preocupación social, se constituyó una comisión no gubernamental para comprobar si los casos observados eran superiores a los que cabía esperar y, de ser así, buscar una posible explicación. En total se registraron 19 casos de leucemia infantil (10,5 casos esperados; casos observados/casos esperados = RME = 1,8) y 6 muertes por esta causa (1,4 casos esperados; RME = 4,3) en el periodo 1968-1974.

Por tanto, los resultados sugerían un exceso de muertes infantiles por leucemia. Ya que la radiación liberada al medio ambiente por la

instalación de Sellafield era inferior al 2% del fondo natural radiactivo, no pareció una explicación razonable para dicho exceso. Gardner *et al* realizaron un conjunto de trabajos que permitieron proponer una explicación alternativa: la radiación provocaría una mutación leucemógena en las células germinales de los padres de los niños que posteriormente desarrollan leucemia. Gardner *et al* siguieron dos cohortes, una de niños cuyas madres residían en Seascale en el momento del nacimiento (Gardner *et al*, 1987a), y otra de niños nacidos en otro lugar pero escolarizados en Seascale (Gardner *et al*, 1987b). Entre los niños de la primera cohorte se produjeron 5 muertes por leucemia (0,5 casos esperados; RME = 10); entre los segundos ninguna. Posteriormente llevó a cabo un estudio de casos y controles a partir de los enfermos de leucemia y linfoma menores de 25 años en Cumbria en el periodo 1950-1985 (Gardner *et al*, 1990a y 1990b). Se observó una relación entre la exposición a radiaciones ionizantes del padre durante su empleo en Sellafield y el desarrollo de leucemia en sus hijos. Esta relación era dosis-respuesta para la exposición acumulada en los 6 meses anteriores a la concepción (tabla 2). Se halló también una asociación geográfica. El RR de leucemia infantil aumentaba con la proximidad del lugar de nacimiento a Sellafield (tabla 3). Además, los 5 casos de leucemia en un área de 4 kilómetros de diámetro en torno a esta instalación ocurrieron en hijos de padres residentes en Seascale. Sin embargo, no se observó asociación entre la leucemia y el resto de los factores de riesgo estudiados, entre los que se encontraban la exposición materna a rayos X y las infecciones víricas durante el embarazo, y ciertos hábitos de vida que pueden aumentar la exposición a radiaciones ionizantes en Seascale, como el consumo de pescado y jugar en la playa de forma frecuente.

La hipótesis de Gardner atrajo mucho la atención de la comunidad

científica y los medios de comunicación. Sin embargo, hoy no se considera una explicación plausible del exceso de leucemias infantiles alrededor de Sellafield, por varias razones: 1) la leucemia infantil no aumenta con la edad de los padres, lo que va en contra de un origen genético de la leucemia; 2) la dosis necesaria para doblar la frecuencia de mutaciones en seres humanos es 2 Sv (de forma aguda) y 4 Sv (de forma crónica); esta dosis es muy superior a la que recibieron la mayoría de los padres de los niños con leucemia, en quienes el RR de leucemia fue 10; 3) no hay un exceso de leucemias en los hijos de supervivientes de Hiroshima y Nagasaki; 4) no hay un exceso de leucemia infantil en zonas de Cumbria diferentes a Seascale; sin embargo, más del 50% de los hijos de los trabajadores de Sellafield han nacido en dichas zonas; 5) estudios epidemiológicos en otras poblaciones del Reino Unido no han confirmado la asociación entre irradiación paterna y leucemia infantil (Urquhart, 1991; Sorahan, 1995).

En la actualidad, 16 años después del descubrimiento del brote de Sellafield y de un gran esfuerzo de investigación, todavía no hay una explicación razonable para el exceso de tumores en Seascale. Sin embargo, este problema de salud pública ha estimulado la realización de numerosas investigaciones en el entorno de las instalaciones nucleares, aunque sin resultados consistentes. Algunos estudios observan un aumento del riesgo de leucemia. Es el caso de Dounreay, instalación nuclear en el norte de Escocia donde se registraron 5 casos de leucemia (0,5 esperados; RME= 10) entre 1970 y 1984 (Heasman *et al*, 1986). El exceso de casos no se pudo explicar por descarga radiactiva de la instalación (Darby y Doll, 1987). Posteriormente un estudio de casos y controles obtuvo resultados negativos para todos los factores posibles de riesgo de leucemia considerados, excepto la frecuentación de las playas locales (Urquhart *et al*, 1991).

► Tabla 2. Riesgo de leucemia infantil según la dosis de radiación externa recibida por el padre en Sellafield

Dosis acumulada	Nº de leucemias		RR*	IC 95%**
	Casos	Controles		
<i>Dosis total antes de la concepción</i>				
0-49 mSv	3	18	1,20	0,34-4,32
50-99 mSv	1	11	0,69	0,08-5,75
≥100 mSv	4	5	6,50	1,52-26,03
<i>Dosis en los 6 meses previos a la concepción</i>				
0-4 mSv	3	14	1,79	0,41-7,73
5-9 mSv	1	3	3,62	0,33-39,97
≥10 mSv	4	5	7,38	1,74-31,31

* Riesgo relativo.

Modificado de Gardner *et al*, 1992.

** Intervalo de confianza al 95% para el riesgo relativo.

► Tabla 3. Riesgo de leucemia infantil según la distancia desde Sellafield a la residencia en el nacimiento

Distancia (Km)	Nº de leucemias		RR*	IC 95%**
	Casos	Controles		
≤4	5	14	1,00	
5-9	5	31	0,35	0,06-0,78
10-14	14	117	0,21	0,05-0,56
15-19	5	35	0,22	0,04-0,67
20-24	9	52	0,22	0,01-0,38
25-29	8	66	0,14	0,01-0,31
≥30	5	35	0,17	0,52-0,80

* Riesgo relativo.

Modificado de Gardner *et al*, 1990a.

** Intervalo de confianza al 95% para el riesgo relativo.

También Roman *et al* (1993) encontraron un exceso de leucemia en niños menores de 4 años que vivían en West Berkshire y North Hampshire, en la proximidad de una central nuclear en el sur de Inglaterra (29 casos observados frente a 14,4 esperados; RME= 2,0). Por último, Clapp *et al* (1987) observaron un exceso similar en 5 ciudades cerca de la central nuclear de Pilgrim, en Massachusetts. Sin embargo, otros estudios no han observado un aumento del riesgo de

leucemia infantil. Entre ellos se encuentra el de Holle y Gillis (1986), que registraron 31 casos de leucemia (42,3 esperados; RME= 0,7) en niños menores de 14 años de regiones adyacentes a 4 centrales nucleares en el sur de Escocia, y el de Baron (1984), que estudió la mortalidad en la proximidad de 145 centrales nucleares y 5 centrales no nucleares en Inglaterra y Gales. Por último, los excesos de leucemia infantil descritos en el Reino Unido se han encon-

● Tabla 4. Mortalidad por leucemia infantil (<10 años), leucemia y cánceres excepto leucemia para todas las edades, en áreas (condados) con instalaciones nucleares de Estados Unidos de América (1950-1984)

	Antes de funcionar la central nuclear		Después de funcionar la central nuclear	
	Muertes observadas	RME*	Muertes observadas	RME
Leucemia infantil (<10 años)				
Áreas con instalación (107)	2.020	1,07	1.390	1,01
Áreas sin instalación (292)	4.251	0,99	2.572	0,97
	RR**= 1,08		RR= 1,04	
Leucemia (todas las edades)				
Áreas con instalación (107)	16.007	0,99	21.176	0,98
Áreas sin instalación (292)	35.971	0,97	42.574	1,01
	RR= 1,00		RR= 1,01	
Cáncer excepto leucemia (todas las edades)				
Áreas con instalación (107)	334.200	0,99	504.293	1,02
Áreas sin instalación (292)	796.510	1,01	997.974	1,02
	RR= 1,02		RR= 1,00	

* Razón de mortalidad estandarizada= muertes observadas/muertes esperadas.

** RME área con instalación / RME área sin instalación.

Modificado de Jablon *et al*, 1991.

trado sólo en instalaciones de reposado de combustible nuclear y en instalaciones militares, pero no en centrales nucleares comerciales.

Uno de los estudios más ambiciosos en este campo es la comparación de la mortalidad por tumores en 107 condados con centrales nucleares y en 292 condados sin ellas en Estados Unidos, para el periodo 1950-1984 (Jablon *et al*, 1991). No se observaron diferencias sustanciales en la mortalidad por leucemia infantil, leucemia y todos los cánceres excepto leucemia en adultos, entre los condados en los que se encuentra ubicada una central y los controles. Los resultados fueron además similares en el periodo de tiempo previo al funcionamiento de la instalación nuclear y en el posterior (tabla 4). Sin embargo, el estudio tiene algunas limitaciones: 1) un posible efecto local, de pequeña magnitud, de la central nuclear puede diluirse al incluir en el análisis a toda la población de los condados; 2) el estudio utiliza fundamentalmente datos de mortalidad; sin embargo, un pequeño aumento de la incidencia de tumores desde la entrada en funciona-

niento de la central podría compensarse con la disminución de la mortalidad de algunos tumores a lo largo del periodo de estudio, como los de tiroides, mama o leucemia en los niños, debido a una mejora del tratamiento médico; 3) algunas instalaciones comenzaron a funcionar a partir de 1970; debido al largo periodo de inducción de la mayoría de los tumores radioinducidos, excepto la leucemia, que es de 2 a 8 años, el tiempo de seguimiento puede ser insuficiente.

Por último, Cook-Mozaffari *et al* (1989) abordaron el problema desde otro punto de vista. Para averiguar si el exceso de leucemia infantil encontrado en torno a ciertas centrales nucleares se debía a un factor de riesgo desconocido que no era la radiación ionizante, llevaron a cabo un estudio en el que se comparaba la mortalidad en lugares próximos a una central nuclear, con la mortalidad de *potenciales emplazamientos* de estas centrales, no encontrando diferencias entre ambos.

En conclusión, se han producido brotes de leucemia infantil en residentes en la proximidad de algunas

instalaciones nucleares. No se han identificado todavía los factores responsables, pero no parece probable que sean las radiaciones ionizantes liberadas por las instalaciones, ya que representan una fracción habitualmente muy pequeña del fondo natural radiactivo.

4. Riesgo de cáncer entre los trabajadores expuestos a bajas dosis

Los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes han sido el primer colectivo en el que se describió el efecto carcinogénico de la radiación. Entre los ejemplos históricos se encuentran sarcomas osteogénicos y carcinomas de senos craneales entre trabajadores de la industria de rótulos luminosos en Estados Unidos, que a principios de los años veinte y treinta absorbieron de forma inadvertida grandes cantidades de radio-226 por los labios y la lengua (Martland, 1931). También se encuentran la leucemia, el mieloma múltiple y el cáncer de piel en los radiólogos durante los primeros años de utilización de equipos de rayos-X (Court *et al*, 1958; Lewis,

● Tabla 5. Estimaciones de exceso de riesgo relativo por Sv (y su intervalo de confianza al 90%) para todos los cánceres, excluyendo leucemia, y para leucemia excluyendo leucemia linfocítica crónica, en trabajadores nucleares y en varones supervivientes a la bomba atómica (estimaciones de riesgo en sujetos con exposición a altas dosis)

Población de estudio	Todos los cánceres excluyendo leucemia		Leucemia excluyendo leucemia linfocítica crónica	
	Trabajadores nucleares *†	-0,07	(-0,39-0,30)	2,18
Supervivientes de la bomba atómica				
Lineal ‡	0,18	(0,05-0,34)	3,67	(2,0-6,5)
Lineal cuadrático ‡§	(?)	1,42		(<0-6,5)
UNSCEAR	0,24	(?)	3,70	(?)

* Se ha utilizado dosis de órganos y dosis del cuerpo completo respectivamente en el análisis de los datos de los supervivientes de la bomba atómica y en trabajadores nucleares.
† Las estimaciones se ajustaron por edad, sexo y periodo calendario, central nuclear y, con excep-

ción de AECL (Atomic Energy of Canada Ltd), por estado socioeconómico.
‡ Análisis realizados en IARC; restringidos a varones expuestos entre los 20 y 60 años. Las estimaciones se ajustaron por edad, ciudad y periodo calendario.

§ Modelo preferido para describir la mortalidad por leucemia en análisis recientes de datos de supervivientes de la bomba atómica.
(?)= Dato no disponible.

Modificado de IARC, 1994.

1963) o los cánceres de pulmón en mineros del uranio (Weller, 1956; Wagoner *et al*, 1965). La mejora de los medios de protección ha hecho que el riesgo de dichos cánceres se haya reducido mucho.

La mayoría de los estudios epidemiológicos en trabajadores de la industria nuclear no han demostrado un exceso de mortalidad en comparación con su población de referencia, habitualmente el país o la región en la que se ubica la industria. Sólo en alguno se ha observado un exceso de mortalidad por alguna causa concreta, como la leucemia (Wilkinson, 1991; IARC, 1994), el mieloma múltiple (Cuzick, 1981; Gilbert *et al*, 1993), el cáncer de próstata (Loomis *et al*, 1996; Beral *et al*, 1988) y el cáncer de pulmón (Checkoway *et al*, 1988). Además, la mayor parte de los estudios no han demostrado una relación clara entre la dosis de exposición y la mortalidad por el conjunto de los tumores o por tipos concretos de ellos (IARC, 1994; Upton *et al*, 1992; Cardis *et al*, 1995).

Dado que los posibles efectos de la exposición crónica a bajas dosis de radiaciones ionizantes son muy pequeños, es necesario reclutar grandes tamaños muestrales para ponerlos de manifiesto o medirlos con precisión. Por ello, el IARC acaba de analizar conjuntamente los resultados de siete cohortes de tra-

bajadores de la industria nuclear (IARC, 1994). Los resultados son consistentes con los de los informes BEIR V (1990) y UNSCEAR (1988), obtenidos por extrapolación desde las altas dosis de radiaciones ionizantes, y sugieren un modesto efecto de las bajas dosis aumentando el riesgo de leucemia no linfocítica crónica (tabla 5).

La poca consistencia de los resultados de los estudios epidemiológicos en trabajadores de la industria nuclear contrasta con los claros resultados obtenidos en mineros del uranio y de otros minerales que desprenden radón y sus derivados radiactivos, sugiriendo un aumento de la mortalidad por cáncer de pulmón en estos trabajadores (BEIR IV, 1988; Axelson, 1991; ICRP 65, 1993; Lubin *et al*, 1994). El radón tiene una relación dosis-respuesta positiva con el cáncer de pulmón, en fumadores y en no fumadores. El riesgo relativo de cáncer de pulmón debido a la exposición conjunta radón-tabaco es supraaditiva pero submultiplicativa (Hornung y Meinhardt, 1987; Samet *et al*, 1991; Moolgavkar *et al*, 1993). También se ha observado un exceso de otros tumores en estos trabajadores, aunque de forma menos consistente.

Por último, en España se ha realizado un estudio epidemiológico

para medir los posibles efectos de las bajas dosis de radiaciones ionizantes en los trabajadores de la JEN (Rodríguez Artalejo *et al*, 1997). Se ha seguido una cohorte de 5.657 trabajadores en el periodo 1954-1992 y se ha observado un exceso de mortalidad por tumores óseos en el conjunto de la cohorte (6 muertes observadas; RME= 2,95). Entre los mineros se ha observado un exceso de mortalidad por causas respiratorias no tumorales (65 muertes observadas; RME= 2,94) y por cáncer de pulmón (24 muertes observadas; RME=1,50). Sin embargo, no se ha observado una relación entre mortalidad por cáncer de pulmón y nivel de exposición dentro de la cohorte de la JEN. Ⓢ

Referencias

- Axelson, O. *Occupational and environmental exposures to radon: cancer risks.* Annu. Rev. Public Health, 1991; 12: 235-255.
- Baron, J.A. *Cancer mortality in small areas around nuclear facilities in England and Wales.* Br. J. Cancer 1984; 50: 815-824.
- BEIR IV. National Research Council Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. *Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters.* Washington DC: National Academy Press, 1988.

- BEIR V. National Research Council Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. *Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiations*. Washington, DC: National Academy Press, 1990.
- Benavides, F.G., Segura, A. *Los apellidos de la epidemiología: lo que importa es el nombre*. En: *La epidemiología y sus apellidos*. Barcelona: Institut Universitari de Salut Pública de Catalunya, 1995: 75-93.
- Beral, V., Fraser, P., Carpenter, L., et al. *Mortality of the Employees of the Atomic Weapons Establishment, 1951-1982*. *BMJ*, 1988; 297: 757-770.
- Cardis, E., Gilbert, E.S., Carpenter, L., et al. *Combined analyses of cancer mortality among nuclear industry workers in Canada, the United Kingdom and the United States of America*. IARC Technical Report No.25. Lión: IARC, 1995.
- Clapp R.W., Cobb, S., Chan, C.K., et al. *Leukaemia near Massachusetts nuclear power plant*. *Lancet* 1987; 2: 1324-1325.
- Cook-Mozaffari, P., Darby, S., Doll, R. *Cancer near potential sites of nuclear installations*. *Lancet* 1989; 2: 1145-1147.
- Court Brown, W.M., Doll, R. *Expectation of life and mortality from cancer among British radiologists*. *BMJ*; 1958 2: 181-187.
- Cuzick, J. *Radiation induced myelomatosis*. *N. Engl. J. Med.*, 1981; 304: 204-210.
- Checkoway, H., Pearce, N., Crawford-Brown, D.J., et al. *Radiation doses and cause specific mortality among workers at a nuclear materials fabrication plant*. *Am. J. Epidemiol.*, 1988; 127: 255-266.
- Darby, S.C., Doll, R. *Fallout, radiation doses near Downey, and childhood leukaemia*. *BMJ*, 1987; 294: 603-607.
- Gálvez Vargas, R., Guillén Solvas, J.F., Fernández Sierra, M.A. *Concepto y usos de la epidemiología*. En: Piédrola Gil, G., Rey Calero, J., Domínguez Carmona, M., et al. eds. *Medicina Preventiva y Salud Pública*. Barcelona: Masson-Salvat, 1991: 79-85.
- Gardner, M.J., Hall, A.J., Downes, S., et al. *Follow-up study of children born to mothers resident in Seascale, West Cumbria (birth cohort)*. *BMJ*, 1987a; 295: 822-827.
- Gardner, M.J., Hall, A.J., Downes, S., et al. *Follow-up study of children born elsewhere but attending schools in Seascale, West Cumbria (school cohort)*. *BMJ*, 1987b; 295: 819-822.
- Gardner, M.J., Michael, P.S., Hall, A.J., et al. *Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria*. *BMJ*, 1990a; 300: 423-429.
- Gardner, M.J., Hall, A.J., Michael, P.S., et al. *Methods and basic data of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria*. *BMJ*, 1990b; 300: 429-434.
- Gardner, M.J. *Paternal occupations of children with leukaemia*. *BMJ*, 1992; 305: 715 y 716.
- Gilbert, E.S., Omohundro, E., Buchanan, J.A., et al. *Mortality of workers at the Hanford site: 1945-1986*. *Health Phys.*, 1993; 64(6): 577-590.
- Heasman, M.A., Urquhart, J.D., Kemp, I.W., et al. *Childhood leukaemia in northern Scotland*. *Lancet*, 1986; 1: 266-269.
- Hill, A.B. *The environment and disease: association or causation?*. *Proc. R. Soc. Med.*, 1965; 58: 295-300.
- Holle, D.J., Gillis, C.R. *Childhood leukaemia in the west of Scotland*. *Lancet*, 1986; 2:525-535.
- Hornung, R.W., Meinhardt, T.H. *Quantitative risk assessment of lung cancer in U.S. uranium miners*. *Health Phys.*, 1987; 52: 417-430.
- IARC. International Agency For Research on Cancer. Study Group on Cancer Risks among Nuclear Industry Workers. *Direct estimates of cancer mortality due to low doses of ionizing radiation: an international study*. *Lancet*, 1994; 344: 1039-1043.
- ICRP 65. International Commission on Radiological Protection. *Protection against radon-222 at home and at work*. Oxford, Pergamon Press, 1993.
- ICR 26. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Oxford: Pergamon Press, 1977.
- Jablon, S., Hrtibec, Z., Boice, J.D. *Cancer in populations living near nuclear facilities*. *JAMA*, 1991; 265: 1403-1408.
- Last, J.M., ed. *A dictionary of epidemiology*. 3ª ed. Nueva York, Oxford University Press, 1995.
- Lewis, E.B. *Leukemia, multiple myeloma, and aplastic anemia in American radiologists*. *Science*, 1963; 142: 1-20.
- Loomis, D.P., Wolf, S.H. *Mortality of workers at a nuclear materials production plant at Oak Ridge, Tennessee, 1947-1990*. *Am. J. Ind. Med.*, 1996; 29: 131-141.
- Lubin, J.H., Boice, J.D., Edling, C., et al. *Radon and lung cancer risk: a reanalysis of 11 underground miners studies*. NIH Publication 94-3644. Washington, DC, National Institute of Health, 1994.
- Marmot, M.G., Morris, J.N. *Social factors as causes*. En: Holland, W.W., Detels, R., Knox, G., eds. *Oxford Textbook of Public Health*, volume 1. Oxford, Oxford University Press, 1984: 116.
- Martland, H.S. *The occurrence of malignancy in radioactive persons. A general review of data gathered in the study of radium painters, with special reference to the occurrence of osteogenic sarcoma and the interrelationship of certain blood diseases*. *Am. J. Cancer*, 1931 15: 2435-2516.
- McMichael, A.J. *Molecular epidemiology: new pathway or new travelling companion?* *Am. J. Epidemiol.*, 1994; 140: 1-11.
- Moolgavkar, S.H., Luebeck, E.G., Krewski, D., et al. *Radon, cigarette smoke and lung cancer: A re-analysis of the Colorado Plateau uranium miners' data*. *Epidemiology*, 1993; 4: 204-217.
- Rey Calero, J. *Epidemiología y epidemiología clínica*. En: Rey Calero, J., Herruzo Cabrera, R., Rodríguez Artalejo, F. *Fundamentos de epidemiología clínica*. Madrid, Síntesis, 1996: 25-35.
- Rodríguez Artalejo, F., Banegas Banegas, J.R., Rodríguez Artalejo, A., et al. *Principios del diseño experimental: del laboratorio a la epidemiología*. *Rev. Salud Pública*, 1995; 4: 149-168.
- Rodríguez Artalejo, F., Castaño Lara, S., Andrés Manzano, B., et al. *Occupational exposure to ionizing radiation and mortality among workers of the former Spanish Nuclear Energy Board*. *Occup Environ Med* 1997. En prensa.
- Rodríguez Artalejo, F., Ortún Rubio, V., Banegas, J.R., et al. *La epidemiología como instrumento para una política de salud racional*. *Med. Clin. Barcelona*, 1989; 93: 663-666.
- Rodríguez Artalejo, F., Sánchez Fernández-Murias, B., Rodríguez Coma, M., et al. *Estudio epidemiológico de los posibles efectos de la exposición a dosis bajas de radiaciones ionizantes sobre la salud de los trabajadores de la Junta de Energía Nuclear*. Madrid: CIEMAT, 1990.
- Roman, E., Watson, A., Beral, V., et al. *Case-control study of leukemia and non-Hodgkin's lymphoma among children aged*

0-4 years living in West Berkshire and North Hampshire health districts. *BMJ*, 1993; 306: 615-621.

□ Samet, J.M., Pathak, D.R., Morgan, M.V., et al. Lung cancer mortality and exposure to radon progeny in a cohort of New Mexico underground uranium miners. *Health Phys.*, 1991; 61: 745-752.

□ Schulte, P.A., Perera, F.P. *Molecular epidemiology. Principles and practices*. Orlando, FL: Academic Press, 1993.

□ Sorahan, T., Lancashire, R.J., Temperton, D.H., et al. *Childhood cancer and paternal exposure to ionizing radiation: a second report from the Oxford Survey of Childhood Cancers*. *Am. J. Ind. Med.*, 1995; 28: 71-78.

□ United Nations Environmental Programme. *Radiation Doses, Effects, Risks*. Oxford: Blackwell Publishers, 1985.

□ UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources, effects and risks of ionizing radiation*. Report E.88.IX.7. Nueva York: United Nations, 1988.

□ Upton, A.C., Shore, R.E., Harley, N.H. *The health effects of low-level ionizing radiation*. *Annu. Rev. Public Health*, 1992; 13: 127-150.

□ Urquhart, J.D., Black, R.J., Muirhead, C.R., et al. *Case-control study of leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in children in Caithness near the Dounreay nuclear installation*. *BMJ*, 1991; 302: 687-692.

□ Wagoner, J.K., Archer, V.E., Lundin, F.E. Jr, et al. *Radiation as the cause of lung cancer among uranium miners*. *N. Engl. J. Med.*, 1965; 273: 181-188.

□ Weller, C.V. *Causal Factors in Cancer of the Lung*. Springfield, Ill: Thomas, 1956; 43-47.

□ Wilkinson, G.S., Dreyer N. A. *Leukemia among Nuclear Workers with Protracted Exposure to Low-Dose Ionizing Radiation*. *Epidemiology*, 1991; 2: 305-309.

□ Wing, S., Shy, C. Wood, J. et al. *Mortality among workers at Oak Ridge National Laboratory. Evidence of radiation effects in follow-up through 1984*. *Jama* 1991: 1397-1402.

El amplificador de energía

En este artículo se describe el concepto del amplificador de energía de Carlo Rubbia; asimismo, los autores relatan las oportunidades de su utilización para la producción de energía y

las ventajas de su capacidad de *regenerar* el combustible, disminuyendo la toxicidad de los residuos a una diezmilésima parte de la de las centrales nucleares convencionales.

1. El panorama energético

Una consecuencia del progreso científico es la oportunidad de disponer de energía, que es, a su vez, uno de los pilares del progreso social. En la actualidad, una gran parte del mundo necesita más energía para mejorar su nivel de vida y el binomio energía-desarrollo se muestra más inequívocamente que nunca. Sin embargo, dadas las actuales servidumbres de la generación energética, resulta necesario intensificar la investigación de las fuentes y estudiar su forma de utilización más eficaz. La figura 1, que muestra la distribución del consumo per cápita para amplias regiones del mundo, es también ilustrativa de sus desequilibrios geopolíticos, estrechamente ligados al nivel de desarrollo. Antes de que el mundo se enfrentara a su primera crisis del petróleo se consideraba que la mejor energía era simplemente la más barata. Sin embargo, ya en 1980, problemas globales como el deterioro ambiental debido a los residuos energéticos o la alarma por el impacto de accidentes como el nuclear de Chernóbil pro-

vocaron un nuevo enfoque a la hora de decidir las fuentes a utilizar. El resultado ha sido la aparición de una oposición ciudadana al uso de las fuentes convencionales (combustibles fósiles y fisión nuclear), pero, sin embargo, no se ha producido el avance tecnológico que permita encontrar sus sustitutos. Alternativas como la fusión nuclear o las energías renovables, por diferentes motivos, no parecen opciones suficientes en el corto o medio plazo. A falta de otras posibilidades, la planificación energética tiene inevitablemente que diferir, hoy, del deseo popular.

Las reservas de combustibles son también un factor importante de este panorama y origen de incertidumbres. Actualmente la demanda mundial es del orden de 12 TW y está previsto que se duplique para el año 2020. Los datos indican que el carbón, el gas natural y el petróleo permitirían el abastecimiento energético mundial durante 107,7 y 11,5 años respectivamente, caso de que procediera únicamente de cada una de las fuentes mencionadas. Estos periodos serían del orden de cuatro veces más largos si también se tuvieran en cuenta los recursos estimados. Para los menos abundantes, petróleo y gas natural, las reservas se caracterizan por estar concentradas en pocos países,

que no son precisamente los suministradores políticamente más estables, lo cual singulariza el carbón como fuente fósil más abundante y garantizada, aunque también se considere la más contaminante, del futuro.

Como en otros países, el desarrollo ha conllevado en España un importante crecimiento de la demanda energética. La figura 2 muestra la evolución del consumo de energía primaria desde 1973 hasta 1995, así como la aportación de las distintas fuentes. El considerable aumento del mismo, 75%, se ha cubierto mediante el petróleo, el carbón, el gas y la energía nuclear. A pesar del énfasis en una utilización más eficiente de la energía, es claro que el consumo español presenta una considerable tendencia al crecimiento y que el dilema del abastecimiento significa optar entre los combustibles fósiles o la energía nuclear.

Frecuentemente se subestima la importancia de la energía en el funcionamiento de las sociedades modernas, y no se es suficientemente consciente de lo que trasciende a su generación y a su utilización. Por ejemplo, existe en nuestro país una especial sensibilización a la escasez de agua potable, particularmente en zonas próximas a la costa. Es éste también un problema

* Doctor en Física, ha trabajado en la JEN y en diversas universidades. Desde 1987 trabaja en el CERN como miembro del Senior Staff.

** Doctor en Física e investigador del Ciemat, actualmente en el CERN.

que afecta a amplias regiones del mundo, como el norte de África o el Oriente Próximo y Medio. Sin embargo, apenas se comenta que la disponibilidad de agua se traduce finalmente, a través del rápido desarrollo de las tecnologías de desalación, en un problema de disponibilidad de energía a costes que hagan competitiva la desalación de agua de mar.

Es claro que la energía constituye una necesidad básica para el funcionamiento de la sociedad. Sin embargo, una gran parte de la población parece no reconocer su importancia, quizás por la facilidad de su consumo, pero más probablemente porque su generación se considera *perniciosa*. En esta situación, hasta que la investigación proporcione al menos otra fuente energética masiva, complementaria a las existentes y con menor impacto ambiental, no habrá solución al dilema energético y la energía seguirá siendo considerada socialmente como un diablo, aunque se admita su necesidad.

El intenso desarrollo económico y social de este siglo ha mostrado, en los últimos años, sus efectos secundarios: la contaminación atmosférica y de las aguas y los residuos industriales y energéticos. Anualmente se producen en la Unión Europea aproximadamente 2.500 millones de toneladas de residuos de todo tipo, lo que es indicativo de la magnitud del problema. De esta cantidad hay una partida especialmente preocupante, los residuos radiactivos, no ya por la cantidad (menos de la diezmilésima parte del total), sino por los riesgos potenciales para la salud y seguridad públicas. En la actualidad se dispone de soluciones para almacenar los residuos de baja y media actividad sin riesgos sociales. Para los de alta actividad existen tecnologías que permiten su almacenamiento temporal con garantías, pero su emplazamiento definitivo en formaciones geológicas profundas está aún en fase de I+D. Si cualquier almacena-

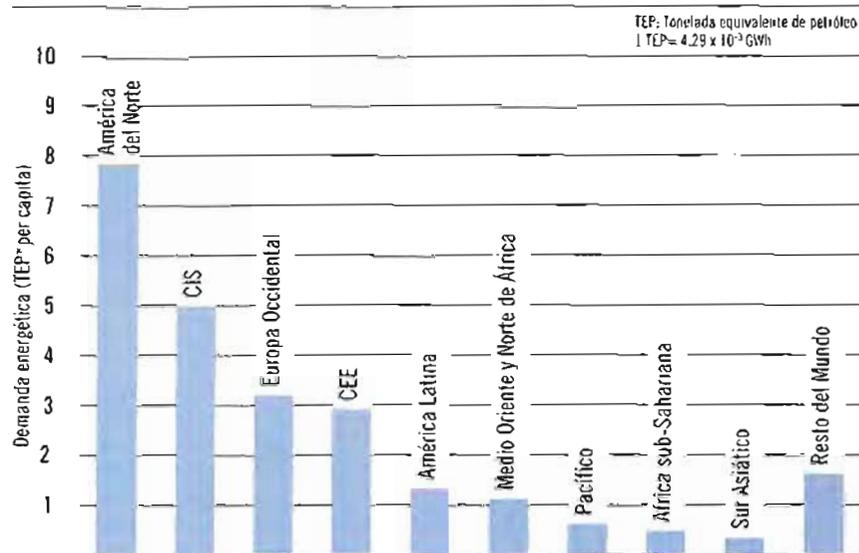


Figura 1. Demanda energética para distintas áreas geográficas del mundo.

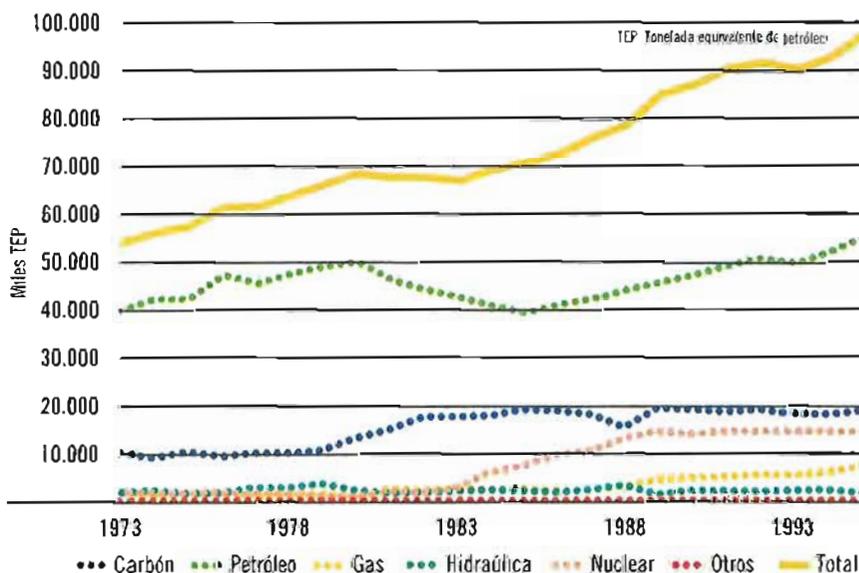


Figura 2. Evolución temporal del consumo energético en España.

miento es hoy objeto de controversia, el emplazamiento geológico encuentra una oposición mucho mayor. El problema de los residuos es ya inevitable y es por tanto imprescindible intensificar las actividades de I+D para su potencial eliminación, manteniendo el almacenamiento definitivo como una solución última.

En este controvertido contexto de alcance global es esencial evitar argumentos retóricos a la hora de proponer soluciones. Tanto en el suministro energético o en el tratamiento de residuos, como en otras muchas actividades humanas, no se puede rechazar la racionalidad

ni la búsqueda de innovaciones fundamentales. Ésta sigue siendo la única vía para evitar servidumbres, de forma que los ciudadanos puedan disponer de un espectro suficiente de opciones y se eviten los maximalismos.

2. Las primeras ideas del amplificador de energía

El apartado anterior intenta dar una descripción aproximada del marco energético existente en el mundo en el momento en el que Carlo Rubbia y su equipo decidieron volver a los conceptos básicos de la fisión nuclear. La decisión de Rubbia estuvo catalizada por los de-

sarrollos tecnológicos impulsados por la física fundamental. De una parte, la utilización masiva de calorímetros *compensados* por el empleo de uranio como medio absorbente (referencia 1) en los detectores de partículas (en cierta forma equivalente a la utilización de sistemas subcríticos), y de otra, el desarrollo alcanzado por los aceleradores de partículas.

El calorímetro, en el lenguaje nuclear, no es más que un conjunto subcrítico. Este fue el origen primero del concepto de amplificador de energía ideado por Carlo Rubbia. Consiste en la utilización conjunta de un haz de partículas procedente de un acelerador, un blanco de espalación de neutrones y un sistema subcrítico acoplado, que permite la multiplicación de los neutrones de espalación a través de las fisiones y la recuperación de la energía generada en el proceso.

Procede decir que ya existían aproximaciones al concepto indicado en la bibliografía reciente (referencia 2), aunque su objetivo, centrado en la posible incineración de residuos actínidos, así como las características de operación potencial del sistema, las hacían muy lejanas de los primeros conceptos de amplificador. La referencia 3 constituye el primer trabajo en el que se analizan las opciones operativas del amplificador de energía, según se desee operar con neutrones térmicos o epitérmicos, y la referencia 4 analiza las oportunidades de operación con neutrones rápidos. En ambos casos lo fundamental es que las ganancias energéticas estimadas podían alcanzar valores superiores a 30. En resumen, el acoplamiento de un conjunto subcrítico a un blanco de espalación permite el suministro extra de neutrones para que el funcionamiento del sistema genere energía continuada de forma rentable, siempre trabajando en condiciones de subcriticidad, lo que evita posibilidades de accidentes de reactividad como el de la central nuclear de

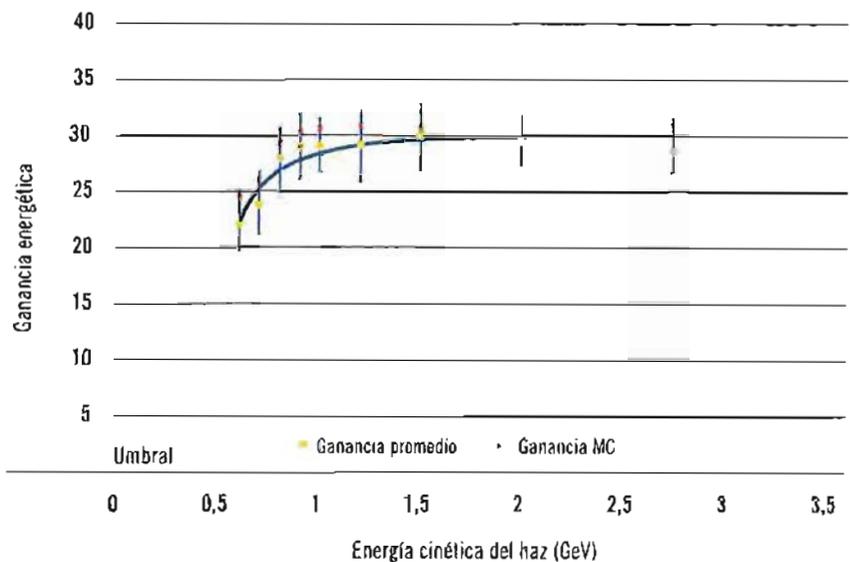


Figura 3. Ganancia energética en función de la energía cinética del haz. En la figura se muestran los puntos experimentales y la predicción del cálculo de Monte-Carlo.

Chernóbil. Además, la intensidad del haz de partículas requerido está dentro de los márgenes accesibles con las actuales tecnologías de aceleración (unos cuantos mA).

Otro de los ingredientes del amplificador, desde su inicio, fue la opción de utilizar el ciclo del torio. Este material, muy abundante en la naturaleza, se presenta como isótopo único (^{232}Th) y es un elemento fértil. El ^{232}Th se convierte en ^{233}Pa —con formación y desintegración rápida de un isótopo intermedio—, el ^{233}Th , por captura de un neutrón, el cual a su vez se desintegra, con una vida media de 27 días, en ^{233}U , que sí es un elemento fisible. De tal forma que en un blanco de torio expuesto a un flujo neutrónico se establece un equilibrio en la relación de cantidades $^{233}\text{U}/^{232}\text{Th}$ que es, en primera aproximación, independiente del valor del flujo y sólo depende del espectro energético de los neutrones a través de las secciones eficaces de los procesos de absorción y fisión. Con una salvedad, según la energía de los neutrones los flujos han de estar limitados (fundamentalmente en el caso de neutrones térmicos), de forma que la cadena de generación del uranio pueda tener lugar y los neutrones no transmuten el ^{233}Pa antes de que éste se desintegre.

Por otra parte se necesita que un núcleo de torio capture consecutivamente seis neutrones para llegar al ^{238}U , lo que disminuye muy considerablemente la generación de actínidos, ingrediente fundamental de los residuos altamente tóxicos de larga vida media. De manera que un sistema que funcione con torio reduce muy considerablemente, en un factor del orden de 10.000, la radiotoxicidad debida a residuos actínidos.

Es evidente que la operación estable de un amplificador de energía requiere la reelaboración del combustible con objeto de recuperar el uranio necesario para la nueva recarga. Es también cierto que el propio amplificador debe disponer de una zona dedicada a generar ^{233}U adicional, la diferencia entre las cantidades de ^{233}U en equilibrio con el torio antes y después del quemado del combustible, puesto que la cantidad de torio disminuye durante el proceso de quemado.

3. El experimento de comprobación de la ganancia energética

Las primeras predicciones de la ganancia energética que proporcionaban los programas de cálculo de Monte-Carlo necesitaban de comprobación experimental y con este

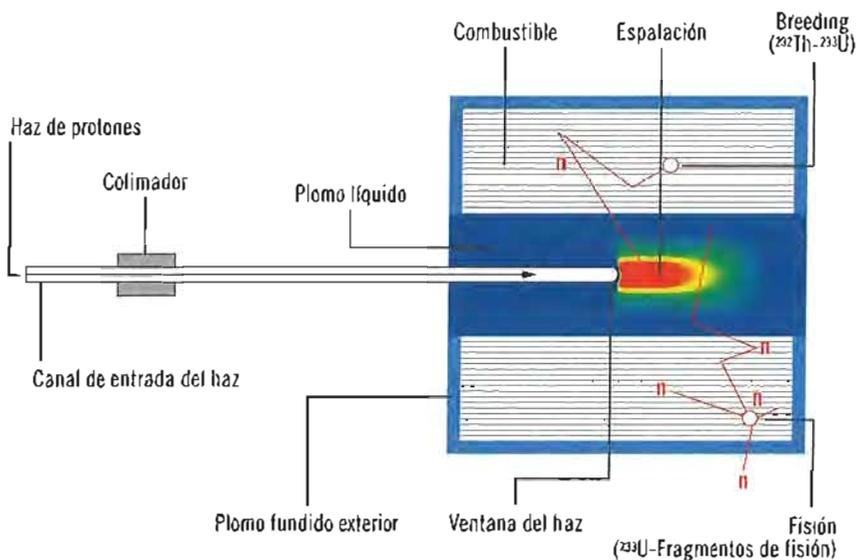


Figura 4. Esquema del amplificador de energía.

objetivo se propuso y llevó a cabo en el CERN un experimento llamado FEAT (First Energy Amplifier Test), de muy baja intensidad de haz (del orden de centésimas de nA), o si se quiere de potencia energética del orden del W. Para este experimento se tuvo la suerte de encontrar y disponer, gracias a la colaboración de los responsables y autoridades, de un conjunto subcrítico de uranio existente en la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. El conjunto, que utilizaba agua como moderador, proporcionaba un espectro epitérmico y tenía un factor de multiplicación del orden de 0,90; se instrumentó con blancos de espalación de uranio y plomo. En tiempo récord se puso en marcha una colaboración franco-greco-española con el CERN, que construyó los detectores necesarios para medir la ganancia energética, bien por recuento del número de fisiones utilizando cámaras de ionización, diodos de silicio policristalino y láminas de activación, bien por medida absoluta del desprendimiento energético utilizando termómetros de muy alta sensibilidad (inferior al mK). La colaboración española, integrada por equipos del Cedex, el Ciemat y las Universidades Autónoma y Po-

litécnica de Madrid y la inestimable ayuda de Enresa, se encargó, con notable éxito, de la puesta a punto del conjunto en el CERN, de la determinación de sus características, y también de la instrumentación termométrica. El resultado del experimento (referencia 5) confirmó los valores de ganancia previstos y mostró su comportamiento en función del valor de energía cinética del haz (figura 3).

4. Diseño conceptual de un amplificador de energía

En lo que sigue se presentarán una breve descripción del amplificador de energía, las oportunidades de su utilización como un incinerador energéticamente rentable de actínidos y el método ARC (Adiabatic Resonance Crossing) para transmutación de fragmentos de fisión de vida larga.

En el diseño conceptual de un sistema nuclear son múltiples las opciones a considerar, muy numerosos e interrelacionados los parámetros que definen su operación, y decisiva su influencia en aspectos fundamentales de su utilización: seguridad de operación, minimización de la radiotoxicidad residual, abolición de riesgos de proliferación, optimización del rendimiento energético, facilidad de manteni-

miento, competitividad del costo de la energía, etcétera.

Anteriormente nos hemos referido a la opción rápida de amplificador como la más operativa. Pues bien, después de múltiples evaluaciones se consideró que el plomo era el mejor medio moderador por su muy elevada capacidad difusora, su muy baja sección eficaz de absorción y otras características relacionadas con la seguridad. Y asimismo se decidió utilizarlo como refrigerador, con lo que este material sería a la vez difusor, blanco de espalación y refrigerante.

Además, el plomo como refrigerante tiene ventajas adicionales. Su alto coeficiente de dilatación permite, por una parte, generar diferencias de presión entre las columnas caliente y fría que hacen viable la refrigeración por convección natural, y por otra, instalar mecanismos pasivos de seguridad accionados simplemente por la elevación de su nivel en la vasija, caso de un aumento de temperatura debido a un transitorio. Además, el inicio y estabilización de la extracción de calor por convección natural es mucho más rápido que los aumentos posibles de la intensidad del acelerador y consecuentemente de la potencia generada.

La ventana de la entrada del haz fue también objeto de estudio detallado. Al final se optó por el wolframio como material. Se consideraron apropiadas dimensiones radiales del haz en la zona de espalación del orden de magnitud del decímetro, lo que impide una repentina concentración del haz o, equivalentemente, un aumento de su intensidad, caso de que el cuadrupolo focalizador, localizado a la entrada de la vasija, se averiase. También se llevó a cabo un estudio del daño ocasionado en la ventana para grados de quemado del orden de magnitud de 100 GWxdfa/TM, con el resultado de que la frecuencia de su reemplazamiento no sería inferior a un año.

La figura 4 muestra un esquema de la unidad de producción de

energía y la figura 5 un esquema global del amplificador sin incluir el acelerador. En él aparecen varios sistemas, como el llamado EBDV (Emergency Beam Dump Volume) que origina, caso de un transitorio, que el plomo ocupe una cavidad prevista al efecto y cierre el paso del haz, haciéndole interaccionar lejos de la región de espalación, y originando una parada inmediata del amplificador; también el sistema llamado RVACS (Reactor Vessel Air Cooling System), diseñado a semejanza de los previstos en el ALMR (American Liquid Metal Reactor), que permite la extracción, por convección natural de aire, del calor residual producido tras un transitorio que ha dado lugar a que el plomo pase desde la vasija principal a la de contención. Otros sistemas que no aparecen en las figuras 4 y 5, como el MLAS (Molten Lead Activated Scram) aseguran, por inserción de CB_2 en el núcleo, la limitación del valor de k durante paradas y emergencias. En estas condiciones el amplificador de energía reúne condiciones de seguridad intrínseca que se derivan, primeramente, de su funcionamiento subcrítico, pero también del carácter pasivo de los elementos de seguridad.

Algunos parámetros del diseño conceptual descrito son: potencia de 1.500 MW térmicos, espectro neutrónico rápido centrado en aproximadamente 300 KeV, valor de la constante de criticidad del orden de 0,98, densidad de potencia del orden de 55 W/g, temperaturas de entrada y salida del refrigerante en el núcleo de 400 y 600°C, ganancia energética del orden de 120, masa de combustible de 28 toneladas y corriente nominal del haz de 12,5 mA para 1 GeV de energía de los protones. De acuerdo con las simulaciones, el amplificador es capaz de operar a potencia constante, con muy ligeras variaciones de la intensidad de haz, hasta alcanzar quemados del orden de 100 GWx día/TM. Esto permite que el sistema pueda

funcionar *sellado* ya que el recambio del combustible sólo será necesario cada lustro.

Como antes hemos referido, el reprocesado del combustible es un aspecto importante del amplificador de energía. A diferencia de una central convencional, en la que el combustible gastado es simplemente *residuo* y por tanto el reprocesado es cuestionable, en el amplificador de energía el reprocesado es *fundamentalmente* una separación y almacenamiento de los fragmentos de fisión, mientras que los actínidos son reciclados en el nuevo combustible, al cual se le añade la cantidad de torio consumida en el quemado previo. El resultado es que la radiotoxicidad generada por los actínidos se circunscribe a las mínimas pérdidas durante el reprocesado del combustible, que en el amplificador de energía más bien habría de denominarse *regeneración del combustible*. El resultado es que la radiotoxicidad global es, después de unos centenares de años, inferior a una diezmilésima parte de la correspondiente a una central convencional. La política propuesta en la referencia 6 consiste en almacenar los fragmentos de fisión de vida media en almacenamientos seculares vigilados y promover una política activa para *incinerar* los de larga vida media utilizando una fracción del flujo neutrónico del amplificador. De esta forma los almacenamientos geológicos quedarían en gran medida eliminados y las condiciones de *limpieza* se asemejarían a las esperables de los sistemas de fusión nuclear.

Un esfuerzo especial ha sido dedicado al diseño del acelerador que proporciona el haz de protones. Sus características de funcionamiento han de garantizar una operación fiable, su diseño ha de ser modular con fácil recambio de componentes; sus dimensiones han de ser modestas (del orden de la decena de metros); la intensidad del haz ha de alcanzar valores próximos a 20 mA y el rendimiento

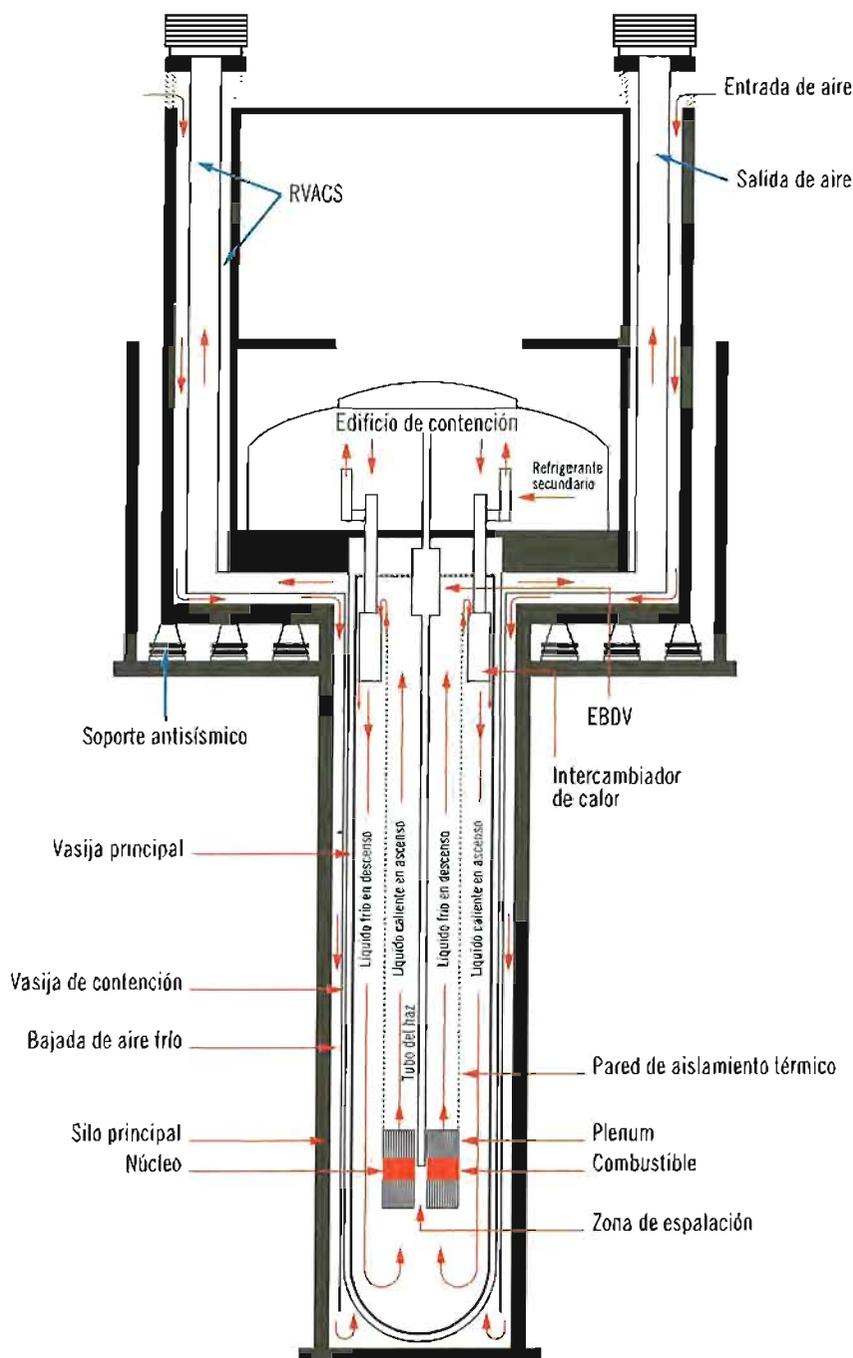
energético del sistema acelerador global ha de aproximarse al 40% con el objeto de garantizar una amplificación energética adecuada.

5. El amplificador de energía como incinerador de plutonio

Uno de los problemas clave que afecta a la producción energética de origen nuclear es la progresiva acumulación de actínidos procedentes del combustible quemado. El almacenamiento geológico es una opción preferida para su eliminación por diversos países, incluido España. Sin embargo, parece que disminuye su atractivo, fundamentalmente por dificultades sociopolíticas. La solución podría ser la incineración.

La operación usual del amplificador requiere de una mezcla inicial de torio y ^{233}U en una proporción próxima a la del equilibrio (próxima porque conviene iniciar la operación con una cantidad ligeramente menor de ^{233}U , de forma que el valor de coeficiente de criticidad k tienda a aumentar y compense con ello el decrecimiento debido a las capturas en los fragmentos de fisión). Pues bien, como aparece extensamente explicado en la referencia 7, cada carga de combustible puede hacerse con una mezcla inicial de torio y *plutonio sucio*, en un porcentaje ligeramente superior al correspondiente para el ^{233}U . El sistema es perfectamente capaz de operar en forma estable alcanzando altos grados de quemado, parecidos al de la mezcla Th-U, y convertir una fracción significativa del Pu en ^{233}U . Tras cada reprocesado del combustible, a la totalidad de actínidos del combustible quemado, exceptuando el uranio, se le añade la cantidad de *plutonio sucio* adecuada para iniciar la operación con el valor de criticidad escogido completando con torio la masa de combustible. En estas condiciones durante cada ciclo se puede incinerar del orden de 2 TM y la eficiencia de conversión de Pu en ^{233}U es del orden del 65%. Después de varios ciclos en los que se utiliza Pu en la mezcla

► Figura 5. Esquema de la unidad de producción de energía.



inicial, el amplificador puede operar en su forma habitual, con ^{233}U , durante varios ciclos o hasta el final de su vida operativa y el resultado último es una práctica eliminación de la mezcla actínida cuyo origen era el plutonio. Otra posibilidad para la eliminación del plutonio es la utilización de un ciclo combinado entre centrales nucleares convencionales y amplificadores de energía. Los amplificadores podrían quemar el *plutonio sucio* generado en las cen-

trales, además de una parte del *stock* existente, y las centrales, a su vez, el uranio producido en los amplificadores (ver referencia 7).

6. La incineración de fragmentos de fisión de larga vida

Además de los actínidos hay otros elementos (^{99}Tc , ^{135}Cs , ^{129}I , ^{93}Zr , y en menor medida ^{126}Sn y ^{79}Se) que requieren un almacenamiento a largo plazo. Una de las tareas que se están

llevando a cabo es la optimización del método ARC, propuesto por C. Rubbia, que permite su transmutación en isótopos de muy corta vida, que a su vez se desintegran, directamente o a través de una cadena, en elementos estables. En general los fragmentos de fisión contienen un exceso neutrónico y la captura de un neutrón adicional produce un isótopo desequilibrado cuya desintegración es rápida. Además, las secciones eficaces de los fragmentos de fisión referidos presentan resonancias importantes. Pues bien, el plomo es un material con muy baja letargia; es decir, un neutrón de alta energía que comienza a *viajar* en el plomo pierde una mínima energía en cada colisión, y es capaz de barrer adiabáticamente la zona de energías de las resonancias, lo que hace muy alta la posibilidad de captura en un núcleo de impureza. Esta es la idea básica del método ARC y es procedente aplicarla en el diseño de un incinerador que sería introducido en el amplificador de energía. Con este objetivo y con la intención de confirmar la neutrónica en plomo se ha propuesto y aprobado, tanto en el CERN, para su realización, como en la Unión Europea, para su financiación, un experimento (referencia 8) cuya realización comenzará en pocos meses y en el que la colaboración española se prevé como una continuidad de la que participó en la referencia 5. Obviamente un incinerador como el descrito supondrá una disminución del inventario neutrónico, lo que originará ligeros cambios en el amplificador y particularmente en la composición del combustible. A cambio, podrá conseguirse que los residuos sean *casi* únicamente fragmentos de fisión de corta y media vida, cuya desaparición natural tiene lugar durante periodos temporales *asequibles*.

7. Consideraciones finales

Evaluaciones preliminares realizadas en colaboración con el Instituto de Política y Economía de la

Energía de Grenoble, recogidas en la referencia 9, indican que el costo del KWh producido por el amplificador no supera el de las centrales actuales. La componente debida al ciclo del combustible es con seguridad muy inferior teniendo en cuenta el grado de quemado alcanzable.

Las ideas anteriormente resumidas han nacido desde una óptica

básica, que es la propia de investigadores cuya actividad previa estuvo fundamentalmente dedicada a contribuir al desarrollo de la física fundamental. Queda por delante un intenso programa de desarrollos tecnológicos y de diseño de ingeniería. Cuestiones como la corrosión por plomo, la extracción de calor por convección natural, la confirmación de que un pequeño

sistema de ciclotrones es capaz de alcanzar los rendimientos esperados, la optimización del método de reprocesado, etcétera, son temas vitales que necesitan desarrollos. Esperemos, no obstante, que estos conceptos puedan convertirse en realidades para que la sociedad pueda disponer de otra opción con la que satisfacer las necesidades energéticas de su desarrollo. 

Referencias

(1) C. Fabjan *et al.*, Nuclear Instruments and Methods 141 (1977) 61.

The UA1 collaboration, R. Apsimon *et al.*, Nuclear Instruments and Methods A305 (1991) 331.

(2) C. Bowman *et al.*, Nuclear Instruments and Methods, A330, 336 (1992).

(3) F. Carminati, C. Gelés, R. Klapisch, J.P. Revol, Ch. Roche, J.A. Rubio and C. Rubbia, *An Energy Amplifier for Cleaner and Inexhaustible Nuclear Energy Production Driven by a Particle Beam Accelerator*, CERN/AT/93-47 (ET) (1993).

(4) C. Rubbia, *A High Gain Energy Amplifier Operated with Fast Neutrons*, Contribution to the Las Vegas Conference on Accelerator Driven Transmutation Technologies and Applications, 25-29 July 1994.

(5) S. Andriamonje *et al.*, Physics Letters B 348 (1995) 697-709.

(6) C. Rubbia, J.A. Rubio, S. Buono, F. Carminati, N. Fietier, J. Gálvez, C. Gelés, Y. Kadi, R. Klapisch, P. Mandrillon, J.P. Revol and Ch. Roche, *Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier*, CERN/AT/95-44 (ET) (1995).

(7) C. Rubbia, S. Buono, E. González, Y. Kadi and J.A. Rubio, *A Realistic Plutonium Elimination Scheme with Fast Energy Amplifiers and Thorium-Plutonium Fuel*, CERN/AT/95-53 (ET).

(8) S. Andriamonje *et al.*, *Experimental Study of the Phenomenology of Spallation neutrons in a Large Lead Block*, proposal to the SPSLC, SPSLC/p291, May 1995.

(9) Ch. Roche and C. Rubbia, *Some Preliminary Considerations on the Economical Issues of the Energy Amplifier*, CERN/AT/95-45 (ET), 29th October 1995.

El principio de optimización de la protección radiológica en las centrales nucleares españolas

Optimizar la protección radiológica de los trabajadores profesionalmente expuestos de las centrales nucleares se ha convertido en un elemento más de la llamada cultura de seguridad. Las instalaciones

españolas están implantando programas con ese objetivo, fundamentados en una política de motivación del personal y con el soporte de una estructura organizativa adecuada.

1. Introducción

Desde las más tempranas utilidades de las fuentes de radiaciones ionizantes por el hombre, a raíz del descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895, se pudo constatar que algunas personas que trabajaban con radiaciones presentaban determinadas patologías —eritema, radiodermatitis— que podían ser atribuidas a dichas radiaciones; se pudo comprobar, asimismo, que estas patologías solo aparecían por encima de un determinado nivel umbral de exposición.

Para este tipo de efectos, que hoy se denominan deterministas, el control del riesgo asociado al uso de radiaciones ionizantes es muy sencillo. Basta con establecer unos límites de dosis que garanticen un margen de seguridad suficiente con respecto a los umbrales de aparición de dichos efectos y, a conti-

nuación, establecer los medios de ingeniería necesarios para que la exposición de las personas permanezca por debajo de esos límites. En este contexto, sólo un accidente podría dar lugar a la aparición de daños radioinducidos.

No son éstos los únicos efectos asociados a la exposición a radiaciones ionizantes; como es bien sabido, el seguimiento epidemiológico realizado sobre los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki puso de manifiesto que algunos de los afectados que habían quedado expuestos a niveles de dosis inferiores a dichos niveles umbral presentaban una incidencia de cáncer superior a lo que se podía considerar como estadísticamente normal.

La existencia, o no, de un umbral de dosis para la ocurrencia de estos efectos, que se denominan estocásticos, ha sido objeto de gran controversia, especialmente acentuada en la presente década. Conviene indicar al respecto que el estudio epidemiológico antes citado únicamente constató la aparición de efectos estocásticos en personas

que habían recibido dosis instantáneas superiores a 200 mGy; sin embargo, existen otros estudios respaldados por la radiobiología que apuntan a que no existe un umbral para la ocurrencia de este tipo de efectos. En estos momentos, y a pesar del gran número de programas de investigación que se han desarrollado en apoyo de una y otra hipótesis, la única realidad constatable es que no existe prueba científica que corrobore o descarte la existencia de dicho umbral.

Ante esta indefinición, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), en una actitud prudente y conservadora, siempre ha asumido la hipótesis de que existe umbral para la aparición de efectos estocásticos. Esta hipótesis, o lo que es lo mismo, el hecho de asumir que no existe un nivel de exposición a radiaciones que pueda considerarse como absolutamente seguro, conduce inexorablemente al principio de optimización de la protección radiológica, que se formula en los siguientes términos: *reducir las dosis a niveles tan ba-*

*Patricio O'Donnell es técnico superior, Ignacio Amor es jefe de Área y José Luis Butragueño es subdirector de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear.



► Figura 1. Trabajos de soldadura en la central nuclear de Ascó durante el cambio de generadores de vapor.

jos como razonablemente sea posible alcanzar, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

En efecto, puesto que ni desde el punto de vista económico ni desde el punto de vista social es aceptable la reducción del riesgo asociado a los efectos estocásticos hasta un valor cero, se hace evidente la necesidad de tomar decisiones sobre hasta qué punto es razonable invertir recursos económicos para reducir la probabilidad de aparición de esos efectos por debajo de un determinado nivel, que corresponda a un nivel de riesgo que se estime como aceptable para la sociedad.

El principio de optimización, también denominado principio ALARA (acrónimo del término *As Low As Reasonably Achievable*), constituye sin lugar a dudas la base fundamental de la actual doctrina de la protección radiológica, con una jerarquía reconocida sobre los otros dos principios, justificación y limitación, que constituyen el sistema de limitación de dosis:

– La *justificación* constituye un principio extremadamente amplio que involucra en bastantes ocasiones un buen número de aspectos políticos y estratégicos, en los que las consideraciones directamente relacionadas con la protección ra-

diológica no son siempre las más relevantes a la hora de la toma de decisiones.

– La *limitación* constituye hoy en día un principio totalmente subordinado al de optimización, puesto que su papel se reduce a un mecanismo de salvaguardia para garantizar que las dosis no resulten en un nivel de riesgo inaceptable para alguno de los individuos expuestos.

2. La aplicación práctica del principio de optimización

Parece evidente que es en la fase de diseño donde mejor se puede contribuir a una eficaz implantación del principio de optimización y que si este principio está perfectamente asumido por los proyectistas desde la fase más conceptual del proyecto, se sienta una sólida base para alcanzar ese objetivo. Esto es así porque resulta muy difícil para el personal de explotación compensar, mediante procedimientos operacionales, un diseño no adecuado desde el punto de vista de la optimización de la protección radiológica, puesto que aspectos como la selección de materiales, la disposición de equipos, la calidad y fiabilidad de los componentes, etcétera, van a condicionar decisivamente las dosis recibidas por los trabajadores expuestos.

Por otro lado, un diseño conceptualmente optimizado desde el punto de vista de la protección radiológica no es por sí mismo suficiente para garantizar una eficaz implantación de este principio puesto que, de hecho, la bondad de los procedimientos operacionales y de la gestión general de los trabajos radiológicamente más significativos juegan un papel no menos relevante.

En efecto, hay bastantes ejemplos prácticos que sirven para demostrar que mediante una adecuada gestión de los trabajos, y sin invertir grandes sumas de dinero –o incluso con ahorro de costes–, se consiguen espectaculares reducciones en las dosis de los trabajadores expuestos. A este respecto, cabe señalar que la aplicación práctica del principio de optimización ha tenido una evolución muy notable desde que, en 1977, este principio fue introducido en la publicación número 26 de la ICRP, pudiéndose distinguir tres fases perfectamente diferenciadas:

1. En las primeras etapas de la aplicación práctica de la optimización se hizo especial énfasis en el uso de herramientas de análisis coste-beneficio, prestándose una especial atención al desarrollo de los aspectos teóricos asociados a estas técnicas (valor monetario de la dosis colectiva).

2. Gradualmente se llegó a la conclusión de que detrás del principio de optimización se encontraba toda una filosofía de *toma de decisiones* en la que además de las técnicas coste-beneficio había que tener en cuenta otros muchos aspectos, ya que muchas veces sucede que factores muy difíciles de cuantificar, y, por tanto, poco susceptibles de ser considerados en los análisis coste-beneficio, son los más críticos en la toma de decisiones. Estas premisas condujeron a una implantación práctica del principio de optimización por medio de procedimientos específicos para la reducción de dosis que, co-

mo es lógico, debían contar con estructuras organizativas adecuadas para su ejecución. Esta aproximación estructurada al principio de optimización no supone dejar las técnicas de análisis coste-beneficio absolutamente de lado, puesto que siguen constituyendo una ayuda eficaz de cara a la toma de decisiones; ahora bien, su utilización queda restringida a la etapa de diseño o a las grandes modificaciones, aunque en la práctica muchas veces el proceso formal de análisis coste-beneficio se sustituye por un análisis comparativo con lo que se pueden considerar como *buenas prácticas*.

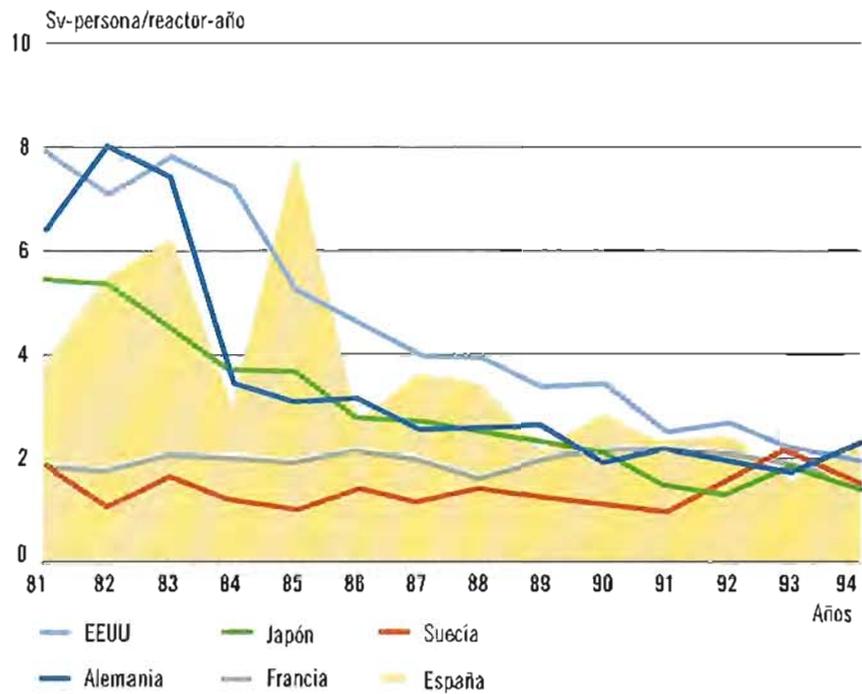
3. La doctrina actual en la aplicación práctica del principio de optimización, aun admitiendo la bondad de estos procedimientos de reducción de dosis, se basa en la premisa de que el principio de optimización debe estar perfectamente integrado dentro de los planes de gestión de la operación de la central, de manera que su metodología forme parte de la sistemática habitual de trabajo, la mentalización alcance a toda la organización de la empresa y sus objetivos sean unos indicadores más de la bondad de la gestión de la empresa. Esta tendencia (*cultura ALARA*) se basa en un ineludible compromiso con el principio de optimización por parte de los más altos niveles de gerencia, que se va extendiendo a todos los niveles de la organización hasta llegar a los ejecutores materiales de cada tarea, a través de una política de motivación del personal y una actitud positiva de todos y cada uno de los implicados.

3. El principio de optimización en las centrales nucleares españolas. Perspectiva histórica

3.1. Los programas de reducción de dosis

Hasta principios de los años noventa la aplicación del criterio de optimización durante la fase de

Figura 2. Dosis colectiva media por reactor y año.



operación de las centrales nucleares españolas se ha desarrollado fundamentalmente a través de los denominados Programas de Reducción de Dosis (REDOS).

Estos programas, que todavía se mantienen como uno de los ejes de las actividades ALARA, consistían en esencia en:

- Identificar las tareas más significativas desde el punto de vista radiológico.
- Preparar y planificar la ejecución de dichas tareas.
- Seguir la ejecución de las mismas.
- Revisar los resultados e identificar mejoras con vistas al futuro.

Aunque la gestión de estos programas era responsabilidad última del titular de la instalación, pues así se establece en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, lo habitual era que esta responsabilidad se delegara de forma exclusiva sobre el Servicio de Protección Radiológica. Sólo en algunas instalaciones, aunque de forma no sistemática, tal responsabilidad se había trasladado en ciertas ocasiones al Comité de Seguridad Nuclear de la central, a la vista de la relevancia de ciertos

trabajos y del riesgo radiológico asociado a los mismos.

También en algunas instalaciones han existido estructuras organizativas específicas, complementarias a los propios Servicios de Protección Radiológica, para la realización de revisiones ALARA de los trabajos a desarrollar en las paradas de recarga; sin embargo, estas estructuras organizativas ni tenían carácter permanente, ni extendían su actividad a otros modos de operación.

La experiencia obtenida en la aplicación práctica de los programas de reducción de dosis demuestra que tal sistemática ha resultado de gran efectividad de cara a situar a nuestro país en un puesto relevante dentro del *ranking* internacional de dosis ocupacionales, con unos resultados comparables a los obtenidos en las centrales de países con mayor desarrollo tecnológico (figura 2).

3.2. Planteamiento de una estrategia de cooperación

A pesar de estos resultados favorables, el CSN, en una línea de actuación coherente con la práctica seguida a nivel internacional, inició

en 1991 una nueva estrategia global para impulsar un mayor desarrollo de la aplicación práctica del criterio ALARA en las centrales nucleares españolas, estableciendo las siguientes líneas maestras:

1. Las centrales nucleares deberían desarrollar unos programas ALARA que, al menos, recogieran los aspectos siguientes:

- Compromiso formal por parte de los más altos niveles de gerencia de las empresas.
- Responsabilidades explícitas a un nivel de gestión adecuado y en todas las secciones implicadas que deberían reflejarse en los documentos oficiales de explotación.
- Implantación de medios para extender la cultura ALARA y motivar al personal, tanto de plantilla como de contrata.
- Existencia de una estructura organizativa específica, de carácter permanente, que debería cubrir todos los modos de operación de la planta, el término fuente, las modificaciones de diseño y el proceso de contratación de las empresas exteriores.

2. Las líneas básicas de los programas ALARA de la instalación se debían incluir dentro de los planes de formación básicos en protección radiológica de los trabajadores y los planes de reentrenamiento del personal.

3. La filosofía ALARA debería ser compartida por las empresas contratistas. Dicho en otros términos, el parámetro de la dosis debía estar presente dentro del proceso de contratación de empresas exteriores y el personal de contrata debía estar implicado de una forma más activa en los programas ALARA de la planta.

4. Paralelamente, se vio la necesidad de disponer de una perspectiva histórica y de evolución de las *dosis ocupacionales*¹ durante la reali-

zación de los trabajos de recarga; a tal fin, el CSN requirió a las centrales nucleares que realizaran un trabajo de recopilación de las dosis colectiva por tareas y de las técnicas de reducción de dosis aplicadas en las operaciones de recarga realizadas en el periodo 1986-91.

5. Tanto los titulares como el CSN decidieron participar en el sistema de información sobre la exposición ocupacional (ISOE), como el foro más idóneo, no sólo para pulsar la situación relativa que ocupa nuestro parque en estos términos, por ser el sistema de mayor participación internacional, sino también para intercambiar experiencias con responsables ALARA de los titulares y de los organismos reguladores.

Es de destacar que esta estrategia se ha impulsado en un marco de cooperación con el sector eléctrico, por entender esta opción más eficaz que la mera imposición de unos criterios que necesitan de la pertinente adaptación a las características estructurales y de cultura de cada instalación.

4. Organización ALARA de las centrales nucleares españolas

La estructura de las organizaciones de explotación de las centrales nucleares está considerando las funciones específicas que desarrollan el criterio ALARA, como misiones particulares, bien de un comité específicamente dedicado a esa tarea, bien como ampliación de las funciones ya encomendadas al Comité de Seguridad Nuclear, tanto a nivel del explotador como a nivel de la Dirección de la central.

Los organigramas están siendo modificados en consecuencia y, desde estos comités, se inicia una política de definición específica de revisión y aprobación sistemática de *acciones ALARA*.

Se comentan a continuación las características más relevantes que se están considerando en las revisiones de las organizaciones de explotación, aunque sin entrar en mu-

chas, y a veces, obligadas matizaciones.

4.1. Compromiso

Las formulaciones corporativas que explicitan el compromiso de las empresas propietarias de las instalaciones en relación con la optimización de la protección radiológica son variadas en su estilo, pero coincidentes en el fondo; en todas ellas:

- Existen responsabilidades específicas ALARA definidas al más alto nivel de gestión de la empresa.
- Existe una política ALARA a nivel de empresa y se definen y aprueban objetivos de dosis colectiva junto a los objetivos relacionados con la explotación; la dosis pasa así a ser un indicador más de la calidad de la gestión.
- La política ALARA incorpora el principio de que la responsabilidad es de todos, desde el más alto nivel al último trabajador.
- La política ALARA afecta a las empresas contratistas, exigiéndoles su integración en la sistemática ALARA de la planta.

4.2. Impulso de la cultura ALARA

El término *cultura* supone que el conjunto de principios, normas y conocimientos que subyacen tras él debe afectar a todo el ámbito de la gestión, ser comprendido y asumido por todos y ser reconocible en el comportamiento y actitud de las personas. En este sentido hay que señalar que:

- Las líneas básicas de la política ALARA se difunden al nivel de dirección y mandos intermedios de la organización y se transmiten a las empresas de contrata para asegurar su compromiso y soporte.
- Los fundamentos de la filosofía ALARA se incluyen en la formación básica en protección radiológica y se imparten cursos específicos para el personal de las secciones implicadas –mantenimiento, ingeniería, etcétera–.
- Se motiva al personal mediante una información abierta y generali-

¹ Este término se refiere a la dosis recibida por las personas profesionalmente expuestas en el transcurso de su actividad laboral.

zada sobre el seguimiento y resultado de los objetivos de dosis.

– Se introduce en la política ALARA un sistema de presupuesto de dosis colectiva para las distintas actividades de la planta a fin de planificar y evaluar las acciones encaminadas a su optimización.

4.3. Régimen administrativo

Es obvio que para que este proceso tenga verosimilitud debe contar con el pertinente soporte administrativo y documental; por ello:

– La organización ALARA y las responsabilidades se recogen en un documento de alto rango de la organización.

– Existen procedimientos que desarrollan la política ALARA y que afectan a toda la organización.

– Se levantan actas que resumen el contenido y compromisos de las reuniones mantenidas por los comités y grupos de trabajo implicados.

4.4. Alcance

– Los procedimientos que desarrollan los programas ALARA afectan tanto a la operación normal como a las paradas, programadas y no programadas, en especial a la de recarga.

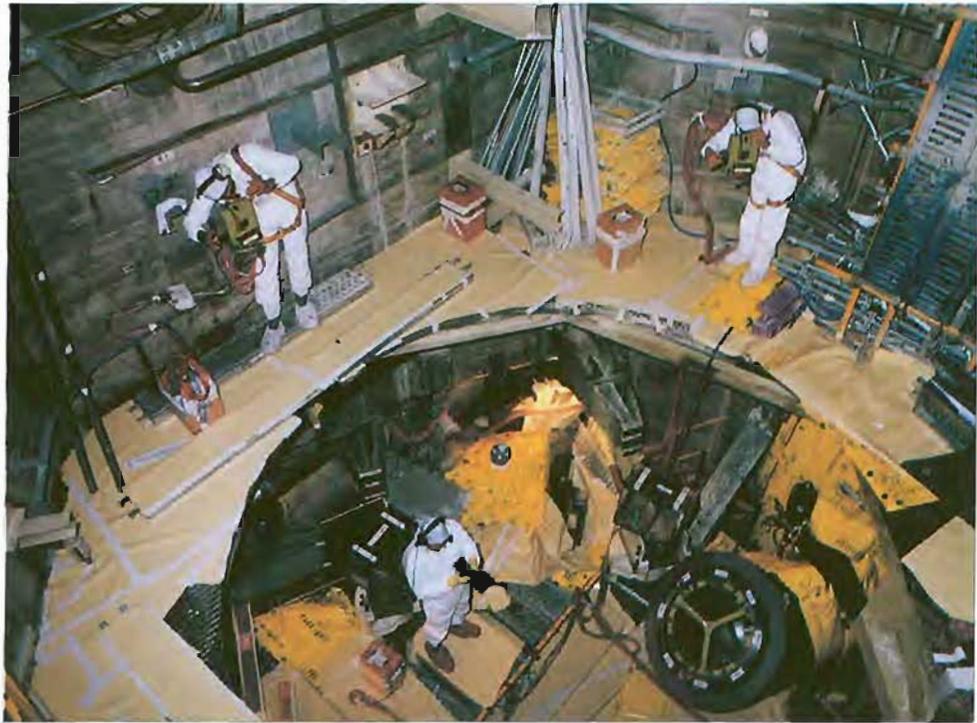
– Los procedimientos que desarrollan los programas ALARA incluyen iniciativas para reducir el término fuente.

– Los procedimientos que desarrollan los programas ALARA incluyen la revisión de las modificaciones de diseño con incidencia significativa en los objetivos de dosis colectiva.

4.5. Estructura

I. Nivel de directivo o gerencial:

- Impulsa la cultura ALARA en la organización.
- Aprueba o respalda la política ALARA y los objetivos de dosis.



► Figura 3. Cambio de generador de vapor en la central nuclear de Ascó. Topometría.

- Proporciona los recursos económicos, técnicos y personales para desarrollar esta política y alcanzar esos objetivos.
2. Nivel de ejecutivos (Comité interdisciplinar constituido por la Dirección de Explotación y los jefes de las Unidades de Explotación e Ingeniería):

- Propone la política ALARA y los objetivos de dosis.
- Revisa periódicamente las iniciativas, prácticas y estudios ALARA; analiza los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas y toma las acciones correctoras que resulten oportunas.
- Coordina las actuaciones de los diversos grupos implicados (operación, mantenimiento, etcétera).

3. Nivel de técnicos (grupos interdisciplinarios constituidos por el coordinador ALARA y los responsables de la ejecución de los trabajos):

- Analiza y planifica los trabajos específicos.
- Realiza el seguimiento de la ejecución de los trabajos, analiza las desviaciones y toma acciones correctoras en el ámbito de su competencia.

- Revisa los resultados de los trabajos, identifica y analiza las lecciones aprendidas y propone sugerencias y mejoras.
- Elabora un resumen de las acciones realizadas, y de los resultados y conclusiones obtenidas.

5. Conclusiones

Los programas en vías de implantación en la mayoría de las centrales nucleares españolas están alcanzando el objetivo de lograr una eficaz implantación práctica del criterio ALARA, como un elemento más de lo que se ha dado en llamar *cultura de seguridad* y formando parte de la doctrina de la *calidad total*. Dichos programas se fundamentan en una política de motivación del personal más que en su fiscalización, y están soportados por estructuras organizativas que vertebran los foros adecuados para establecer una sistemática que conduzca la operación de las centrales nucleares de una forma optimizada, tanto desde el punto de vista de su objetivo industrial, como desde el punto de vista del costo radiológico asociado a dicho objetivo. ☺

 Shirley Ann Jackson*

Nuclear regulation in the United States: challenges and direction-setting actions

El siguiente texto reproduce íntegramente la conferencia que la presidenta del organismo regulador norteamericano (NRC) pronunció el pasado mes de septiembre en el CSN. Shirley

Ann Jackson describe los principales desafíos del sector nuclear y de la actividad reguladora, tanto en Estados Unidos como en otros países, en el inmediato futuro.

1. Introduction

Buenos días. Estoy muy contenta de estar con ustedes.

Good morning. I very much appreciate the invitation to address this meeting of the Consejo de Seguridad Nuclear. I am delighted to have this opportunity to discuss with you the challenges to, and the future direction of, nuclear regulatory policy in the United States.

Our nuclear regulatory policy is evolving in response to external, governmental, technological, and other developments. While not all nations with nuclear programs face the same issues at the same time, there is enough overlap from one nation to another that it may be useful to describe the challenges facing the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) today, the ways in which we are seeking to address them, and the directions in which nuclear regulatory policy is evolving. The challenges that the NRC faces today *may* well be

those which other nations will confront shortly –if they are not doing so now.

In fact, *I* realize that you have your challenges here. However, in reviewing the 1996 data on worldwide nuclear power operations, I note that your Garoña plant is among the top eight nuclear power plants in the world, as rated by capacity factor (99.01) –followed closely by your Cofrentes plant (97.83). I congratulate you on those successes.

In addressing the question of a vision for the NRC, I am sometimes asked whether it is possible to *have* a vision for the agency, given that no new nuclear plants are being built in the U.S., and none is on the immediate horizon. The answer, of course, is yes, because licensing of nuclear power plants is only a *part* of the job of the NRC –an important part, to be sure, because safety must be built into nuclear plants from the beginning–but, nevertheless, it is just one part. The task of the nuclear regulator is to ensure not only that plants are designed and constructed safely,

but also that they are operated safely throughout an operating life measured in decades; that they are properly maintained as they age; and that, when the time comes to retire them from service, they are decommissioned safely.

Therefore, from an operational and managerial point of view my focus as Chairman of the NRC has been to reaffirm our fundamental health, safety and environmental protection mission in the use of nuclear materials, to enhance our regulatory effectiveness, and to position the NRC for change. These three elements are woven throughout my remarks today.

In the United States today, numerous challenges face the nuclear power industry and its regulators. Domestically, these include: (1) economic constraints and the restructuring of the electric utility industry in response to competitive pressures, due to market and regulatory forces; (2) the evolving role of government in American life; and (3) the special challenges posed by a maturing nuclear power industry. There is, in addition, the

* Física teórica, investigadora y profesora de Universidad, es presidenta de la NRC desde julio de 1995.

possibility of potential new elements of the NRC mission. There also are a number of international issues confronting us. I would like to discuss each of these.

2. Domestic Challenges

2.1. Economic Constraints

The U.S. electric utility industry faces substantial change that will inevitably affect its business practices. At present, the industry is restructuring in an effort to remain competitive, while lowering electric rates to consumers, in response to Federal and state regulatory initiatives. One concern is that economic pressures might cause electric utilities to cut costs at the expense of maintenance and safety upgrades. In fact, during the 1990s, safety performance, reliability, and availability for U.S. power reactors have been good, and generally continue to improve, albeit slowly. This is demonstrated by the key operational safety indicators monitored by the NRC. This improved management of operational safety has been accompanied by decreases in average plant operation and maintenance costs, and increased plant availability. However, the nuclear power industry could find it challenging to maintain a proper focus on safety if good performance were to be taken for granted. We all know that creating and maintaining a *true* safety culture means resisting the temptation to become complacent in response to sustained success.

Therefore, as the business environment changes, the NRC must ensure that nuclear electric generators continue to maintain high safety standards, with sufficient resources devoted to nuclear operations, *and* with decommissioning funding secure. To help ensure this, I have asked the NRC staff to analyze this changing business environment carefully to determine whether our current regulatory requirements are satisfactory. The staff has proposed that the Com-



► Figura 1. Shirley Ann Jackson, presidenta de la NRC.

mission initiate a rulemaking to provide adequate assurance of decommissioning funds for those power reactor licensees which are no longer economically regulated. We also are reviewing reportability requirements on the status of decommissioning funds, and strengthening our financial reviews of utility reorganizations.

2.2. Role of Government

For some time, there has been public debate in the United States over the proper role of government in American life, with many Americans believing that the government has become too large, expensive, and intrusive. Public concerns about the size and cost of government, coupled with efforts to reduce the Federal budget deficit, have resulted in reduced funding for all government agencies, including

the NRC. Like many other agencies, we are having to carry out our responsibility to assure adequate protection of public health and safety, and the environment, with diminished resources. This tighter fiscal environment requires us to prioritize our programs, and to make some difficult choices about where the increasingly scarce resources should be directed.

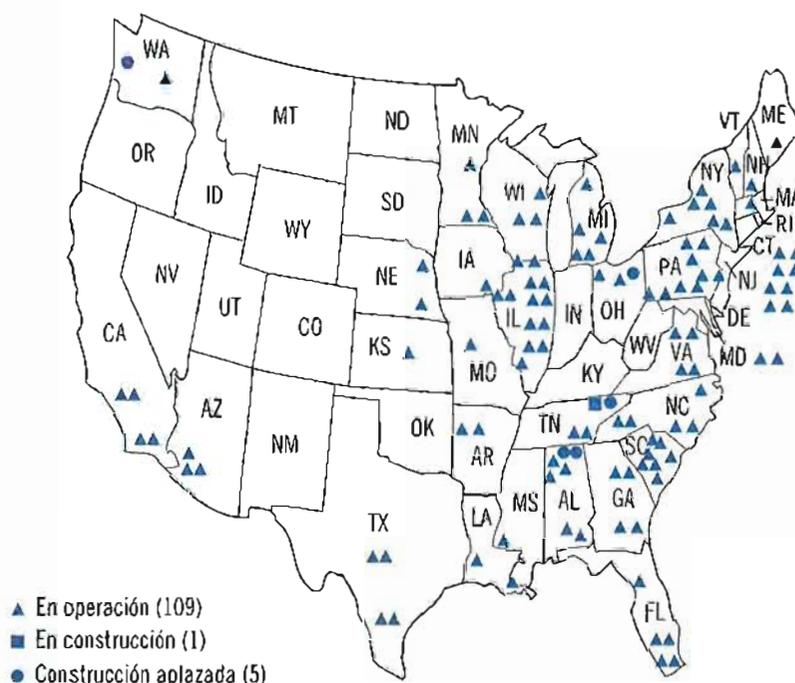
At the same time, the NRC may be asked to assume new duties. An advisory committee was formed in 1994 by the U.S. Department of Energy (DOE) to examine and to make recommendations on external regulation of DOE facilities, including its national laboratories and weapons plants. The Advisory Committee *recommended* that DOE be regulated by an external regulator. NRC is one of the organizations that is being considered

for such external regulation. If full responsibility for such DOE activities is assigned to the NRC, it would add significantly to our current nuclear regulatory responsibilities requiring agency restructuring, and significant additional resources. Such a step also would require Congressional approval.

2.3. Regulating a Maturing Industry *Reactor Aging*

One of the most obvious manifestations of the maturation of the nuclear power industry is that plants have been in operation long enough for reactor aging to become a major issue both for the NRC and the industry regulates. Aging affects all plant structures, systems, and components to varying degrees, and it can affect operations and safety, if not appropriately managed. The NRC believes that a "risk-informed, performance-based" approach is an important step in ensuring that licensees *continue* to focus on safety-important plant equipment. The Maintenance Rule which became effective July 10, 1996, incorporates this approach. Licensees are required to have maintenance programs based on a risk-ranking of structures, systems, and components for their specific plants, and performance monitoring based on pre-established goals. Through inspection, the NRC is monitoring performance against each licensee's program.

Even with the implementation of the Maintenance Rule, we must examine the standards and operating procedures imposed on critical components to assure ourselves and the public that an adequate safety margin is being maintained. Two specific aging problems of great importance are reactor pressure vessel embrittlement and steam generator tube degradation. Some U.S. reactor pressure vessels may approach pressurized thermal shock (PTS) screening criteria before the end of their licensed terms. If so, licen-



► Figura 2. Centrales nucleares en Estados Unidos (1995).

sees will have to perform plant specific analysis, mitigate the embrittlement, or shut down their reactors. To address steam generator tube degradation, the NRC is considering a generic regulatory approach for dealing with steam generator tube degradation, with a view to reducing plant-specific regulatory decisions, while ensuring defense-in-depth through a balance of preventive and mitigative measures. In the end, however, many plants may have to replace their steam generators because of an inability to accurately characterize and mitigate steam generator tube degradation mechanisms. Indeed, a number have made such replacements already. If not adequately addressed, both of these aging phenomena can cause plants to be shut down *before* the end of their 40 year license terms, as was the case with Yankee Atomic Electric Company's Yankee Rowe and Portland General Electric Company's Trojan facilities.

Waste Storage and Disposal

The continued operation of many nuclear plants over a period of decades has meant a steadily moun-

ting quantity of radioactive waste and spent fuel needing storage and disposal. The need to address and resolve this problem remains critically important, in the U.S. and elsewhere.

The NRC believes, based on what we know today, that a deep geologic repository is a technically feasible solution to the problem of permanently disposing of spent fuel and other high-level radioactive waste in the United States. The responsibility for constructing and operating such a facility rests with the U.S. Department of Energy; licensing and regulating it is the responsibility of the NRC.

The delays in developing permanent storage and disposal facilities, coupled with diminished space in spent fuel pools, have caused many utilities to turn to dry cask storage for spent reactor fuel. NRC rules provide for site-specific licenses, and at reactor sites, generic approvals of dry cask designs, which allow a nuclear utility to purchase and use approved casks without the need for site-specific licensing action. Several such designs have already been approved, and the NRC's approach, when



► Figura 3. Emplazamiento de la instalación para investigación y almacenamiento de residuos radiactivos de Yucca Mountain (Nevada).

challenged, has been sustained by the U.S. courts.

The attractiveness of dry cask storage as an interim solution to the spent fuel storage problem, coupled with uncertainties in the repository program, has led to interest in the development of a centralized interim storage facility for the United States. Legislation to that effect has been passed by the U.S. Senate, but faces an uncertain future. The NRC believes that any legislation should provide for an integrated high-level waste management program, with three components: interim on-site storage, centralized interim off-site storage, and deep geologic disposal of high-level radioactive waste, primarily spent fuel. We are examining the NRC's existing licensing capabilities and staff resources, should we be called upon to license an interim centralized storage facility. It is important that statutory clarity on the direction of the U.S. high-level waste program be established as soon as possible, so that the NRC and electric utilities (with nuclear facilities) can plan prudently.

While on the subject of radioactive waste, let me touch briefly on

low-level radioactive waste disposal, which remains a major issue in the U.S. It is my understanding that Spain has made significant advances in this area with the operation of its state-of-the-art low-level waste (LLW) disposal facility at El Cabril.

In the Low-Level Radioactive Waste Policy Act of 1980 and its 1985 amendments, the responsibility for identifying sites and developing disposal facilities in the U.S. was given to the individual States. This authorized them to enter into compacts for the establishment and operation of regional disposal facilities for LLW. The NRC or, as appropriate, the 29 "Agreement States" (that is, States which have signed agreements with the NRC to regulate the use of radioactive material within their borders) are responsible for licensing these facilities. It currently appears that most, if not all, LLW disposal facilities will be licensed by Agreement States. Nevertheless, the NRC also must maintain some level of licensing capability, in case we are called upon to license a low-level radioactive waste disposal facility.

3. International Challenges

3.1. Nuclear Safety and Security

Internationally, it is important that the nations of the world *share* their collective policy, technological, operational, and governmental experiences, to help keep the risks of nuclear accidents to acceptable levels in all countries. The NRC regards this part of our role as extremely important. Much of our focus in the past five years has been on the new nations formed in the aftermath of the breakup of the Soviet Union. Not only have these nations inherited Soviet-built reactors, they also may have limited experience with the concept of independent regulatory bodies, capable of shutting down nuclear power plants when safety concerns warrant that step. World wide, the NRC has provided assistance to a number of nations—some with existing nuclear programs, and others, particularly in Asia, which are studying their feasibility—in establishing and strengthening regulatory bodies.

A major challenge in the international arena is safeguarding fissile materials. Every country with a nuclear program *must* have the means to prevent theft or misuse of dangerous materials through effective safeguards, including materials protection, control and accountability (MPC&A) programs, implemented through a strong and effective regulatory system. Various agencies of the U.S. government, including the NRC, are working closely with their counterpart organizations in Central and Eastern Europe to guard against such diversions, by assisting in the development of effective regulatory and safeguards programs.

3.2. Nuclear Regulatory Research

A long-standing NRC international cooperative activity is regulatory research—an area likely to assume even greater significance in the future. The NRC has over 60 research agreements, with or-

ganizations in more than 20 countries, including Spain. This cooperative approach not only makes good economic sense—through the pooling of increasingly scarce resources—but recognizes that no country or agency has a monopoly on good ideas. A diversity of perspectives and viewpoints on complex technical issues can only improve our understanding of how best to assure protection of public health and safety. We have to be certain that the focus and the results of such work continue to enhance nuclear safety and provide a means to leverage scarce research resources. We are working to re-focus and prioritize our various cooperative research agreements.

4. Responding to the Challenges: the U.S. Picture

I have described today some of the challenges I see facing nuclear regulators in the U.S. and internationally. I now would like to discuss some of the ways I envision that these challenges are and can be addressed—in the U.S., by the NRC, and, internationally, by the world community.

4.1. Strategic Assessment and Rebaselining

To position the NRC to effectively meet the challenges we face and to intelligently guide our activities and decision-making in the future, last year, I initiated a strategic assessment and rebaselining at the NRC for domestic and international activities. The first phase of the initiative, the “strategic assessment”, involved reviewing, categorizing and examining the sources of the mandates that make up our regulatory mission—statutes, Executive Branch directives, and Commission decisions. This phase identified key strategic and direction-setting issues to be addressed by the Commission. This will lead to a new NRC strategic plan and performance plan. The subsequent

rebaselining and any agency-wide changes needed will derive from these plans, and will reflect our programmatic needs and their required resource levels.

4.2. Probabilistic Risk Analysis (PRA)

In regulating a mature nuclear power industry in the U.S., “risk-informed, performance-based regulation” uses Probabilistic Risk Analysis (PRA) as a tool. This technique allows the NRC to focus on the most safety-significant aspects of reactor operations and other licensee activities, while maintaining the principles of defense-in-depth. Properly applied, it tends to relieve unnecessary regulatory burdens by focusing on those aspects of nuclear operations that have the greatest safety significance. At the same time, however, it also may reveal vulnerabilities which could result in new requirements. What is important is that a risk-informed, performance-based approach allows a sharpening of focus and a targeting of attention and resources in a way that should help the regulator, the industries we regulate, and the public.

To foster consistency in the use of PRA in NRC decision-making, the Commission in 1995 issued a PRA policy statement and related implementation plan. The NRC staff has been given the task of developing a basic structure for a risk-informed, performance-based regulatory framework, including standards development, a Standard Review Plan, and changes in the regulatory guidance documents on an expedited basis.

4.3. Regulatory Issues

Review of Regulations

The NRC has been engaged in a re-examination of its regulations for a few years, with emphasis added by a government-wide initiative of the Clinton Administration—the National Performance Review. The objective of this effort for the NRC can be summed up in the phrase

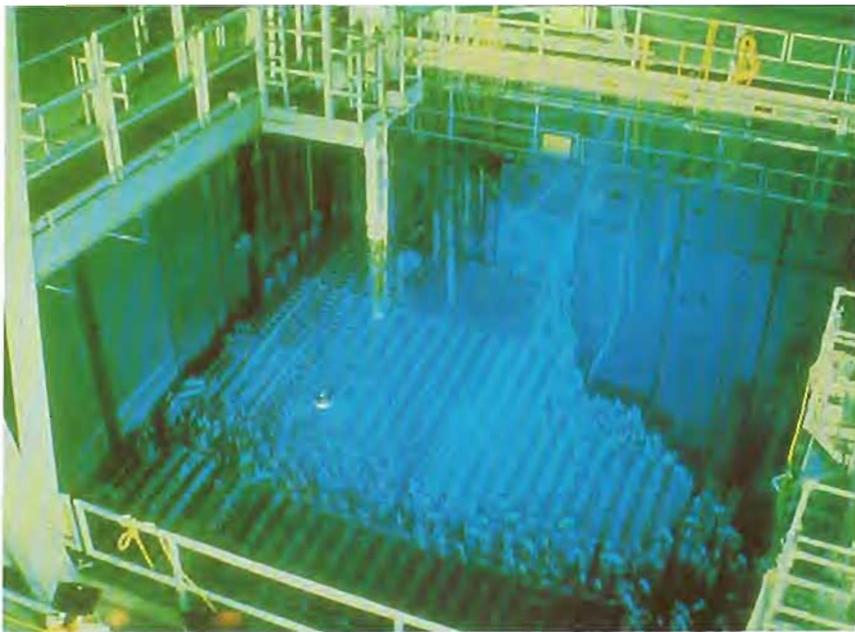
“regulatory effectiveness”. To achieve this goal, the NRC is currently looking not only at whether a particular regulation or set of regulations is necessary, but also considering the ease of its implementation, its consistency with other applicable statutes and regulations, its fairness, its cost-effectiveness, and its place within the overall regulatory program. Efficiency and the use of risk insights within a performance-based framework, are also important components of regulatory effectiveness.

The NRC staff also has been asked to examine closely those regulations for which we have granted numerous exemptions. It seems reasonable that when exemptions from a particular regulation are routinely requested, at least, it must be asked whether the regulation needs amendment, or whether licensee performance needs improvement. We already have amended our regulation pertaining to containment leakage testing. We are considering amending other regulations as well.

Design Bases

In maintaining and improving their facilities, our nuclear power plant licensees make continual changes to their plant systems, structures and components, procedures and other administrative controls. It is important that the as-built plant accurately reflects, and is reflected in, the plant design basis, and that plant changes do not erode or compromise safety margins of risk-significant systems. The Maintenance Rule aids in helping to ensure this, but it, also, is dependent upon an accurate design basis.

Therefore, the NRC is giving increased focus to design basis control, especially as embodied in the Final Safety Analysis Report (FSAR). The NRC uses the FSAR when evaluating license amendment requests and other issues at particular facilities. The accuracy of the FSAR has a direct impact on the accuracy of recurring reviews



► Figura 4. Piscina de una central nuclear.

and safety analyses performed by the NRC staff. NRC resident inspectors continue to use the FSAR as a baseline when conducting their routine monthly inspections. Headquarters inspection teams are focusing on FSAR content during their inspections.

The NRC staff is returning to an increased use of inspections based on the safety system function format. This in-depth vertical slice review of actual design basis documentation, and comparison of "as-built" with "as-operated" safety systems provides a better picture of licensee effectiveness in maintaining licensing and design bases.

The verification that licensees know their licensing bases, have appropriate documentation of such, and properly perform the necessary assessments when licensing basis changes are made will continue to be a focus of NRC inspection activities.

Technical Specification

Another area of attention involves technical specifications. Technical specifications are specific operational, testing, design and administrative constraints under which each nuclear power plant is required to

operate. In this area, the NRC has implemented an improvement program designed to eliminate unnecessary license constraints and to improve understanding of the bases of the technical specifications, thereby substantially reducing the regulatory burden on licensees. Improved standard technical specifications are available for adoption by our licensees. As of this summer, approximately 80 percent of the operating units had converted or had indicated an intention to convert to the improved standard technical specifications.

4.4. Aging

Embrittlement of Reactor Pressure Vessels and Nondestructive Testing
Let me return to the embrittlement issue. From my perspective, adequate progress has not been made in measuring embrittlement changes in operating reactor vessels and relating those changes to microscopic models which give a stronger predictive capability, and which allow an assessment of post-anneal properties.

The surveillance programs used by nuclear power plant licensees for determining changes in toughness properties in the vessel materials of operating reactors have a

number of shortcomings, especially for older plants. These programs use a simple, but indirect, conservative method that does not utilize improvements in fracture toughness technology. The results tend to have significant variability, making more difficult the assessment of plant-specific reactor vessel integrity.

To address this problem, the use of advanced nondestructive examination techniques for measuring the embrittlement of irradiated reactor vessels should be pursued. Several possible approaches have been proposed for such measurements, including magnetic, ultrasonic, and hardness measurement techniques. Additional research is required. This is an area with considerable promise, and significant potential safety benefits.

4.5. New reactors

Although in the United States, new nuclear electric generating capacity does not appear likely at this time, the possibility remains that U.S. electric power generators will consider a standard nuclear power plant as a source for new generating capacity. The NRC has issued final design approvals for two standard reactor designs, and is in the process of certifying these designs by rulemaking. We expect that the certification of the two standard reactor designs—the General Electric Advanced Boiling Water Reactor and the Combustion Engineering System 80—will be completed in 1996. The NRC also is reviewing the Westinghouse AP-600 standard design application, a light water reactor design which employs passive safety features and greater use of modular construction. While the General Electric Company has announced that it is ending its simplified boiling-water reactor program, the Westinghouse Corporation has confirmed its continued participation in the U.S. Department of Energy's Advanced Light Water Reactor effort.

5. Looking to the Future: the International Perspective

The United States is not alone in facing the problem of how to accomplish the health and safety objectives of government within the constraints of a limited budget. One obvious solution, for the numerous governments in this situation, is to pool their bodies of knowledge toward the common goal of enhanced nuclear safety in all countries. Already, a striking example of this is occurring in nuclear safety research, where many countries share their results. I believe that we should go further. Toward that end, I have recently proposed an international initiative which would help to meet the common challenges which we, as regulators, are encountering.

At the OECD/NEA Senior Regulators Meeting held just over a week ago, I led a session discussion called "International Cooperation Among Regulatory Bodies: Mechanisms to Meet Current and Future Needs". I long have thought that the world's nuclear regulators should consider establishing a better mechanism for coordinating their own efforts, through a structured forum for the exchange of information and views on topics of mutual interest. I know that significant exchanges already take place on an *ad hoc* basis, as well as in the context of meetings at the IAEA in Vienna or the NEA in Paris. However, these efforts do not always reflect the needs of regulators or their priorities. I am not advocating a multilateral nuclear regulatory organization with a secretariat and headquarters, *but* a more *formal* organization of nuclear regulators on the international level might help to identify common themes and ap-

proaches and provide greater support for safety.

As we go forward, I believe that the international community should consider *new* programs of focused cooperative research in areas where we face common challenges such as aging and risk assessment methodologies. In certain areas of mutual interest, coordinated international research activity has already occurred, with excellent results. If existing international bodies can provide the necessary structure for such a program, this would be excellent; if not, the creation of other mechanisms should be considered.

One specific area in which international cooperation already is bearing fruit is in the thermal annealing of reactor pressure vessels, which involves significant engineering issues and financial risk to nuclear power companies. Although thermal annealing of a reactor pressure vessel has not yet been attempted at a commercial nuclear power plant in the U.S., the Russians have had success with their annealing procedures, and part of our cooperative safety program with Russia includes annealing technology. The NRC has created a regulatory framework to assess reactor pressure vessel integrity following annealing, and the Department of Energy is conducting two annealing demonstrations using two different heating techniques, including the Russian technique which utilizes electrical heat. One annealing demonstration, utilizing gas heating, was recently completed at the Marble Hill reactor in Indiana. The second annealing demonstration, using electrical heating, will occur this fall at the Midland facility in Michigan. We

are observing carefully and evaluating these tests to strengthen our regulatory process in this area. The Palisades Nuclear Plant in Michigan is considering annealing its pressure vessel, and its decision will test our regulatory framework and its technical bases.

6. Conclusion

I have attempted to describe some of the many challenges the nuclear power industry and nuclear regulators currently face, in the United States and around the world. Despite their number and complexity, I believe that there is reason for considerable satisfaction. The same maturing process that has brought issues such as reactor aging to the forefront of our concerns has also provided us with a base of operating experience, helping to ensure the safety of reactors in the U.S. and abroad. In the safeguards area, although the problems are substantial, there is increasing cooperation of the world community in coping with these problems, especially at the IAEA through the 93 plus 2 initiative, which the U.S. government strongly supports.

Nuclear energy and nuclear knowledge have long since ceased to be the preserve of just a few nations. Today the world's nuclear community has the benefit of the knowledge, the expertise, and the fresh insights of capable men and women around the world -including those here this morning. As we approach a new century and a new millennium, we recognize increasingly our global interdependence. We must continue to work together to ensure a unified commitment to nuclear safety throughout the world.

Thank you for your attention. 

Noticias

- Consejo de Seguridad Nuclear 39
- Información general 43
- Tecnología 44
- Centrales nucleares..... 44

- Ciclo del combustible y gestión de residuos... 45
- Protección radiológica 46
- Cursos, reuniones y conferencias..... 46
- Publicaciones..... 48

● CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Presentaciones a cargo de diversos especialistas

□ Dra. Shirley Ann Jackson, presidenta de la Comisión Nuclear Reguladora (NRC) de Estados Unidos, el 20 de septiembre de 1996: *Nuclear regulation in the United States: challenges and direction-setting actions.*

□ Dra. Ann MacLachlan, corresponsal en Europa de *Nucleonics Week*, el 22 de octubre de 1966: *Nuclear mis-communication: who's to blame?*

□ Dr. Rémy Carle, presidente ejecutivo de la World Association of Nuclear Operators (WANO), el 20 de noviembre de 1996: *Improving the safety and reliability of nuclear power plants: a WANO perspective.*

Simulacro de emergencia internacional



Técnicos del CSN en la sala de emergencias durante el simulacro.

El pasado 7 de noviembre tuvo lugar el ejercicio regional de emergencia nuclear INEX-2, primero de una serie de ejercicios regionales que se sucederán a lo largo de 1997 y 1998, patrocinados por la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE, tras las conclusiones obtenidas del primer ejercicio internacional de emergencia nuclear, INEX-1, realizado en 1993. Los objetivos de esta serie son el intercambio internacional de información en tiempo real, la toma de decisiones basadas en información incompleta y reducida, y el ejercicio de los diferentes aspectos relacionados con la información al público en caso de emergencia nuclear.

En el simulacro, que tomó como escenario un supuesto incidente en la central nuclear suiza de Leibstadt (BWR, 1.803 MWe), participaron una treintena de países, la Comisión de la UE, la OCDE y el OIEA. En España participaron el CSN, el Departamento de Infraestructuras para el Seguimiento de Situaciones de Crisis, la Dirección General de Protección Civil y la sección de Medio Ambiente del Instituto Nacional de Meteorología.

Las entidades españolas consideraron muy satisfactorios los resultados, resaltando el desfase existente entre la información difundida a través de los medios de comunicación y la intercambiada a través de los cauces formalmente establecidos. Este desfase, si es desconocido o ignorado, puede dar lugar a situaciones de información contradictoria al público en caso de emergencia nuclear.

Comparecencias en la Comisión de Industria del Congreso de los Diputados

Varios representantes del CSN comparecieron ante la Comisión de Industria del Congreso de los Diputados para informar de diversos asuntos. El día 1 de octubre compareció, ante la Ponencia de la Comisión que estudia los informes semestrales del CSN de 1995, el subdirector de Centrales Nucleares, Ignacio Lequerica, para informar sobre los problemas de corrosión de las centrales de Zorita y Garoña, los cambios de generadores en diversas centrales y la situación de la central de Trillo. Por su parte, los subdirectores de Instalaciones Radiactivas y del Ciclo y Residuos, Víctor Senderos y Eugenio Gil, respectivamente, informaron sobre los posibles problemas de contaminación en la retirada de pararrayos radiactivos. El 16 de octubre compareció ante la Comisión de Industria el secretario general del CSN, Alfonso Arias, para informar del proyecto de presupuesto elaborado por el organismo para 1997.

Finalmente, el 10 de diciembre el presidente del CSN, Juan Manuel Kindelán, rindió cuentas del contenido de los informes de 1995.

Comisión CSN-Ministerio de Sanidad

A finales del último trimestre de 1996 se constituyó, a iniciativa del CSN, una comisión mixta de trabajo entre el CSN y el Ministerio de Sanidad, con el fin de mejorar e institucionalizar las relaciones entre ambos organismos. Estas relaciones se establecen, en el ámbito de sus respectivas competencias, en dos grandes líneas de actuación.

Respecto a las cuestiones relacionadas con la salud pública y la protección frente a las radiaciones ionizantes, existen varios temas importantes, entre los que cabe destacar: las transposiciones de las directivas de la Unión Europea sobre radioprotección; la coordinación de esfuerzos en las certificaciones y exigencias técnicas de los equipos de radiomedicina; el control de las instalaciones de radiodiagnóstico y la cualificación de las personas que operan o dirigen su funcionamiento; la realización de estudios epidemiológicos; y, finalmente, la consideración conjunta de los resultados de los controles, efectuados por el CSN, de los niveles de concentración de actividad de aguas en las cuencas hidrográficas y en las costas, y de los resultados de la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental.

Entre las cuestiones relacionadas con la titularidad del Ministerio de Sanidad de un gran número de instalaciones radiactivas, los principales aspectos son la renovación paulatina de los equipos de cobaltoterapia y su sustitución por equipos más avanzados y de mejores prestaciones, y la potenciación del establecimiento de servicios de protección radiológica en los grandes centros sanitarios.

Presentación de la revista Seguridad Nuclear

El pasado 22 de octubre, el presidente del CSN, Juan Manuel Kindelán, y el director de *Seguridad Nuclear*, Rafael Caro, presentaron la publicación a las juntas directivas de la Asociación de Periodistas de Información Ambiental y la Asociación Española de Periodismo Científico. Posteriormente tuvo lugar un acto de presentación de la revista al pú-



Rafael Caro y Ann MacLachlan, en el acto de presentación al público de la revista *Seguridad Nuclear*.

blico asistente a la conferencia de Ann MacLachlan en el salón de actos del CSN. Se destacó el carácter técnico de esta publicación y se reiteró su objetivo como canal de comunicación de los temas de actualidad y trascendencia que entran dentro de las competencias del organismo.

Evaluación simulada de almacenamientos de alta actividad

El CSN participó en dos proyectos de la Comisión de la Unión Europea para la elaboración de los estudios de seguridad de dos hipotéticos almacenamientos geológicos profundos de residuos radiactivos de alta actividad. Los proyectos, iniciados en 1994, concluyeron a mediados de 1996, y consistieron en la simulación de los procesos de licenciamiento (construcción y operación) de almacenamiento en dos medios geológicos distintos (arcilla y granito). En su desarrollo participaron varias agencias europeas

Principales acuerdos del Pleno del CSN

Revisión del programa integrado de APS

El CSN ha elaborado una revisión del programa integrado de realización y aplicación de los análisis probabilistas de seguridad (APS) en las centrales nucleares españolas. La propuesta fue revisada por el Pleno en el pasado mes de octubre, acordando su remisión a los responsables del sector eléctrico para comentarios antes de su aprobación final. Esta remisión se produjo en el mes de noviembre.

La revisión del programa pretende conseguir que todas las centrales españolas realicen de forma homogénea los APS hasta el nivel 2 incluido. La revisión se ha realizado orientando los APS a las futuras aplicaciones, para lo que se identifi-

can mejoras en la metodología del análisis.

Mejora de la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia nuclear

El CSN ha mejorado la rapidez de respuesta ante una posible emergencia mediante la implantación de dos clases de retenes. Los denominados retenes operativos del grupo radiológico están formados por técnicos permanentemente localizables y en disposición de acudir a la Sala de Emergencias antes de 45 minutos. Para este fin se han creado seis equipos de seis personas cada uno y se ha establecido, asimismo, un turno de retenes para los miembros del Pleno, de forma que exista la seguridad de que pueda hacerse frente con rapidez

a cualquier posible situación que requiera la activación de la Sala. Como jefe del Grupo Radiológico de cada uno de los seis retenes se ha designado al director técnico y a un subdirector general.

Por otra parte, el denominado retén para coordinación en campo está formado por personas que se desplazarán al emplazamiento de la instalación afectada, los cuales, junto con el inspector residente y el inspector residente adjunto, colaborarán con las autoridades locales de Protección Civil en la implantación efectiva de las medidas de protección radiológica que fuera necesario adoptar. Se han establecido tres equipos de dos personas cada uno, con lo que queda cubierto permanentemente este tipo de actuaciones. El sistema de retenes se ha implantado a partir del primero de noviembre de 1996.

de gestión de residuos radiactivos y diversos organismos reguladores y asesores. El alcance y la calidad de la aportación técnica de los representantes españoles fue muy bien valorada, reflejándose en la documentación presentada a la Comisión Europea.

Los estudios y trabajos efectuados han puesto de manifiesto que gran parte de los temas necesitan desarrollos futuros en relación con el almacenamiento de residuos radiactivos de alta actividad que, además de proporcionar a la Comisión Europea la base para el desarrollo de próximos programas de I+D, han suministrado al CSN orientación sobre los trabajos a realizar en los próximos años.

Día Mundial de la Calidad

El pasado 14 de noviembre se celebró el VIII Día Mundial de la Calidad. Con tal motivo, la Asociación Española para la Calidad organizó unas jornadas, que fueron clausuradas por el vicepresidente del CSN, Aníbal Martín, quien destacó en su intervención la estrecha relación existente entre la calidad y la seguridad nuclear. Asimismo, afirmó que una buena seguridad implica, indefectiblemente, una gestión eficaz e innovadora y un compromiso firme con la mejora constante.

Visita al Centro de Crisis de La Moncloa

El director del Departamento de Infraestructuras y Seguimiento para Situaciones de Crisis, Manuel Durbán Romero, invitó al Pleno del CSN a realizar, el pasado 17 de octubre, una visita a las instalaciones del denominado Gabinete de Crisis del complejo de La Moncloa de Presidencia del Gobierno. Ambas instituciones manifestaron su interés

en fortalecer e incrementar la colaboración entre el Servicio Permanente de Alerta (Sepal) y la Sala de Emergencias del CSN. Muestra de esa voluntad de colaboración fue la participación del Sepal en el ejercicio internacional de emergencia nuclear INEX-2, el pasado 7 de noviembre.

Comisión CSN-Ministerio del Interior

El CSN y el Ministerio del Interior han constituido una comisión mixta de trabajo, cuya primera reunión se celebró en el mes de septiembre. La comisión tiene como objetivo lograr la coordinación de esfuerzos en la preparación y mantenimiento de la logística necesaria para la respuesta ante posibles emergencias, dadas las competencias que en materia de protección radiológica, y dentro del Plan Básico de Emergencia Nuclear (Plaben), mantienen el CSN y la Dirección General de Protección Civil.

Durante la reunión se pasó revista a los temas que requieren una revisión y coordinación más inmediata de esfuerzos, como el mantenimiento del instrumental disponible y el refuerzo de equipos humanos de los grupos radiológicos.

Días más tarde, el director general de Protección Civil, Juan San Nicolás, mantuvo una reunión de trabajo en el CSN y visitó la Sala de Emergencias.

Parlamentarios de Extremadura en el CSN

El pasado 13 de noviembre tuvo lugar en la sede del CSN una reunión con los parlamentarios extremeños que forman parte de la comisión de investigación que estudia los depósitos de materiales realizados en La Haba, acompañados del equipo técnico asesor. El objetivo de la reunión era

Estudios epidemiológicos en el entorno de instalaciones nucleares

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear decidió en octubre de 1996 impulsar la realización de estudios epidemiológicos alrededor de las instalaciones nucleares para conocer el estado de salud de la población alrededor de las mismas, identificando la potencial influencia derivada de su funcionamiento.

El CSN ha acordado establecer un convenio marco con el Instituto de Salud Carlos III para colaboración en todas las actividades que promuevan un mayor conocimiento de los temas relacionados con la salud de la población en relación con los efectos de las radiaciones ionizantes. Dentro de este convenio marco se

prevé el establecimiento de acuerdos específicos para el desarrollo de los estudios epidemiológicos mencionados.

Simuladores de alcance total

Uno de los temas directamente relacionados con la seguridad de la operación de las centrales nucleares es el reentrenamiento permanente de los operadores, en el que están implicados el conocimiento y la experiencia, pero también el entrenamiento para dar respuesta a situaciones que están lejos de las actuaciones habituales, como las que se dan en secuencias de incidentes o anomalías que

pueden producir accidentes o situaciones de emergencia.

En el CSN se ha producido un amplio debate sobre la forma de realizar un entrenamiento efectivo para estas circunstancias y se está estudiando la posibilidad de establecer un programa de implantación de simuladores *réplica* para cada central.



Sala de control de una central nuclear.

aclarar cuestiones técnicas sobre el contenido y peligrosidad de los materiales depositados en la mina extremeña.

Intercambio de información en protección radiológica

El pasado 4 de octubre tuvo lugar en Chilton (Reino Unido) la firma de la renovación del acuerdo de intercambio entre el CSN y el National Radiation Protection Board (NRPB) del Reino Unido. Con esta renovación, que afecta al periodo de los próximos cinco años, se refuerza la cooperación entre ambos países en materia de intercambio de información en protección radiológica.

Información al sector de recogida de chatarras

El CSN está poniendo en marcha una campaña de información dirigida al sector de recogida de chatarra, con el objetivo de que los profesionales de este campo sepan reconocer los materiales radiactivos que pudieran aparecer en depósitos de chatarra. De esta forma pueden protegerse a sí mismos y al público en general de las posibles lesiones que originarían estos productos al ser manipulados sin las precauciones necesarias.

La información se distribuirá en forma de carteles que recogerán explicaciones sobre los campos en los que se utiliza material radiactivo, las formas anómalas que tiene ese material de llegar a depósitos de chatarra, y las normas sobre las actuaciones que han de seguirse en caso de encontrar alguno. Asimismo, se incluirán fotografías de los diversos equipos y contenedores en los que pueden encontrarse dichos materiales.

Acuerdo de cooperación con SKI

A finales del pasado mes de octubre, una representación de técnicos del CSN encabezada por el secretario general, Alfonso Arias, realizó una visita a Suecia para entrevistarse con los responsables de la gestión de los residuos en el Instituto Sueco de Protección Radiológica (SSI) y en el Inspectorado de Instalaciones Nucleares (SKI). El objetivo de la visita era el intercambio de información sobre aspectos estratégicos y organizativos de ambos organismos y sobre el marco regulador en general. Asimismo, se exploró la posibilidad de establecer un acuerdo de colaboración entre el CSN y los organismos reguladores suecos.

La delegación española visitó el almacén temporal centralizado de combustible gastado (Clab) y el laboratorio para la investigación del almacenamiento geológico profundo (Äspö), ambos situados en el emplazamiento de la central nuclear de Oskarshamn.

Acuerdo de investigación con la NRC

El pasado 20 de septiembre, la presidenta de la NRC, Shirley Ann Jackson, y el presidente del CSN, Juan Manuel Kindelán, firmaron la renovación del acuerdo entre ambos organismos sobre investigación en seguridad nuclear, para el periodo 1996-2001. El acuerdo, que representa la renovación de la relación que ambas instituciones mantienen



La presidenta de la NRC, Shirley Ann Jackson, y el presidente del CSN, Juan Manuel Kindelán, durante la firma del acuerdo.

desde 1985, supondrá el intercambio de información y de personal y la ejecución de programas conjuntos, durante los próximos cinco años, en diversas áreas de investigación, entre las que destacan el envejecimiento de componentes y materiales de las centrales nucleares, los accidentes severos, el transporte de radionucleidos en el medio ambiente y los residuos de alta actividad.

Reunión de expertos sobre la Convención de Residuos

Del 18 al 22 de noviembre se celebró en Pilanesberg (Sudáfrica) la quinta reunión del grupo de expertos encargado de elaborar la Convención sobre Seguridad en la Gestión de los Residuos Radiactivos y del Combustible Irradiado, cuyo borrador se encuentra terminado, aunque quedan algunos puntos sobre los que todavía no se ha alcanzado el consenso necesario. Los puntos más polémicos han sido la inclusión del combustible gastado y de los residuos generados en actividades militares en el ámbito de aplicación de la Convención, el tratamiento que la Convención debe dar al movimiento transfronterizo de residuos radiactivos, el retorno de fuentes usadas al país donde fueron fabricadas y el solapamiento entre la Convención de Residuos y la de Seguridad Nuclear.

España apoyó desde el primer momento la existencia de la Convención de Residuos y compartió el interés general de que tuviera un carácter incentivador para favorecer que fuese firmada por el mayor número posible de países. Asimismo está participando en su elaboración con una delegación compuesta por técnicos del Ministerio de Industria, Enresa, CSN y la representación permanente de España en Viena.

El grupo de expertos espera presentar el borrador de la Convención para su discusión en la conferencia general del OIEA de 1997.

Robótica para emergencias

El director y el director adjunto de Intra (Intervention Robotique en Accident), Raymond Dibos y R. Dumas, respectivamente, presentaron el pasado 27 de noviembre, ante numerosos especialistas del CSN y de empresas españolas, las capacidades para tratar los problemas de emergencias

exteriores con las herramientas de robótica e interfase que su empresa ha desarrollado. El propósito de la visita era hacer acopio de la información pertinente para decidir una posible colaboración hispano-francesa en este dominio, y la utilización conjunta de su parque de robots.

Resultados del Plan de Investigación del CSN



Agustín Alonso y Juan Manuel Kindelán durante la presentación de los resultados del Plan de Investigación.

El pasado 10 de diciembre tuvo lugar en el CSN una jornada técnica, en la que se expuso una visión global de los resultados de los proyectos de investigación subvencionados por el CSN. Presentada por el presidente, Juan Manuel Kindelán, y moderada por el consejero Agustín Alonso, la jornada se estructuró en tres partes, en cada una de las cuales se realizó una descripción más detallada de los resultados de varios proyectos específicos en tres áreas: la explotación de instalaciones nucleares, la protección radiológica y los emplazamientos. En próximas jornadas se actualizará la visión global y se presentarán resultados de otros proyectos.

Plan de calidad interna

La mejora de la organización y la implantación de programas de calidad interna son aspectos a los que cada vez se da más importancia en todas las organizaciones, incluyendo la propia Administración. El cambio de óptica, que pasa a considerar al administrado como un cliente y establece como objetivo primordial satisfacer sus necesidades de la forma más rápida y eficaz posible, supone un cambio de la mentalidad de toda la organización y un esfuerzo en el establecimiento de procedimientos mejorados.

El CSN, de acuerdo con las previsiones del Plan de Orientación Estratégica, aprobado a finales de 1995, ha establecido un programa de garantía de calidad interno, que comprende un Plan Estratégico de Calidad, un Manual de Calidad, un Manual de Organización, y Procedimientos a tres niveles: de gestión, de administración y técnicos.

Los dos primeros documentos ya han sido redactados en su primera versión, y está bastante avanzada la redacción del Manual de Organización, que recoge la nueva estructura implementada en el organismo a primeros de 1996.

► INFORMACIÓN GENERAL

Entra el vigor la Convención sobre Seguridad Nuclear

El pasado 24 de octubre entró en vigor la Convención sobre Seguridad Nuclear promovida por el OIEA. España ratificó esta Convención el 4 de julio de 1995. Representantes del CSN formaron parte de la delegación española que acudió a todas las sesiones que el OIEA dedicó a elaborar el texto de la Convención, que hasta el presente ha sido firmada por 65 estados miembros.

Desde el momento de la entrada en vigor se ha iniciado un periodo de implantación que establecerá el procedimiento y las vías de aplicación de los términos establecidos en la propia Convención. En abril de 1997 está prevista la celebración de una reunión en la que participarán todos los países implicados y en la que se discutirán los procedimientos de aplicación de la Convención.

Conferencia general del OIEA

Durante los días comprendidos entre el 16 y el 20 de septiembre tuvo lugar la XL conferencia general del OIEA, en la que participó una delegación del CSN compuesta por el presidente, dos consejeros y técnicos del organismo. En la Comisión Plenaria de la primera sesión se debatieron las medidas para reforzar la cooperación internacional en materia de seguridad nuclear, protección radiológica y seguridad en la gestión de residuos radiactivos. La delegación del CSN mantuvo durante la conferencia contactos multilaterales con numerosos países sobre temas de interés común, entre los que cabe destacar Argentina, Alemania, Brasil, Corea, China, Francia, México, Rusia y Ucrania.

Uno de los compromisos adquiridos en el marco de esta conferencia ha sido el de celebrar en España, del 17 al 21 de noviembre de 1997, una conferencia internacional sobre efectos en la salud atribuibles a las dosis bajas de radiación. Se ha propuesto Sevilla para la celebración de este foro, cuya organización correrá a cargo del CSN, Enresa, Ciemat, Enusa y la Sociedad Española de Protección Radiológica, con la colaboración de autoridades de las administraciones central, autonómica y local.

Seguridad de los reactores nucleares de Rusia y Europa del Este

Cerca de una veintena de representantes, tanto de centrales nucleares como de organizaciones estatales de Rusia, Bulgaria y Ucrania, permanecieron, durante el pasado mes de noviembre, en Wolf Creek (Estados Unidos) con objeto de ampliar sus conocimientos en materia de procedimientos de operación en emergencias. Dicha estancia fue coordinada por WANO (World Association of Nuclear Operators), el Departamento de la Energía (DOE) de Estados Unidos y el INPO (Institute of Nuclear Power Operations), dentro de un amplio esfuerzo destinado a incrementar la seguridad de los reactores existentes en Rusia y Europa del Este.

TECNOLOGÍA

Segunda prueba del programa Phebus

El segundo experimento del proyecto de investigación Phebus FP para el estudio del término fuente en accidentes graves de centrales PWR fue realizado durante el mes de julio en el Centro de Estudios de Cadarache (Francia). Se obtuvo fusión parcial del combustible a una temperatura de 2.500°C. El CSN participa en el proyecto Phebus manteniendo técnicos destacados en el citado centro.

Primer experimento del proyecto internacional Rasplav

El día 9 de octubre, en la instalación experimental Rasplav en el Centro de Investigación del Instituto Kurchatov en Moscú, se llevó a cabo satisfactoriamente el primer experimento de fusión de materiales reales del núcleo de un reactor de agua. El experimento se engloba en el marco del primer proyecto patrocinado por la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OCDE en Rusia en el área de la seguridad nuclear.

Durante la prueba, el material del núcleo se calentó a 2.700°C en una vasija refrigerada externamente, para simular las condiciones en caso de accidente severo, siendo la primera vez que una gran cantidad de material del núcleo se ha calentado a temperaturas tan elevadas.

El CSN es miembro del consorcio internacional del proyecto Rasplav, por lo que participa del conocimiento y aprovechamiento de los resultados que se obtengan. El interés del CSN se centra en la evaluación del grado de incertidumbre actual de los modelos de predicción del fallo del fondo de la vasija de los reactores españoles y en la posibilidad de emprender la refrigeración de la vasija como medio de gestión de accidentes, a fin de evitar dicho fallo.

Tratamiento de recocido en la central finlandesa de Loviisa

Durante el pasado mes de agosto se realizó el tratamiento de recocido de la vasija a presión del reactor de la central finlandesa de Loviisa-1, VVER de diseño ruso y 465 MW de potencia. Mediante este tratamiento se pretendió recuperar las propiedades de ductilidad del material de la VPR, que se encontraba fragilizado debido al flujo neutrónico. El tratamiento consistió en el calentamiento de la zona afectada hasta una temperatura de 475°C, manteniéndola durante 100 horas.

CENTRALES NUCLEARES

Central francesa de nuevo diseño

A finales de agosto se produjo la primera conexión a la red de la central francesa de Chooz B-1 PWR de 1.450 MWe de potencia. Es la primera central del tipo N4 y corresponde a un diseño realizado en su totalidad en Francia. La explotación comercial de la central está previsto que comience en los primeros meses de 1997.

Parada de la central canadiense de Pickering

La central de Pickering, con ocho grupos de tipo Candu de 540 MW de potencia cada uno, ha permanecido parada durante cinco meses (desde abril a septiembre de 1996) debido a problemas en una válvula del sistema de refrigeración de emergencia. Adicionalmente el titular ha llevado a cabo un extenso programa de mantenimiento impulsado por la Atomic Energy Control Board (AECB). En septiembre volvieron a operación cuatro de los ocho grupos, y durante el otoño continuaron los trabajos en los restantes.

Aumento de potencia en Leibstadt

Las autoridades reguladores de Suiza (HSK) han aprobado el aumento de la potencia térmica de la central de Leibstadt, BWR de diseño General Electric, en un 14,7%. El aumento de potencia se realizará en los próximos años gradualmente en cuatro etapas entre los 3.138 MW actuales y el objetivo de 3.600 MW.

Reparación del barrilete de la central de Muehleberg

Durante la parada para recarga que dio comienzo en el mes de julio, la central suiza de Muehleberg, BWR de diseño General Electric de 372 MW de potencia, procedió a la instalación de tirantes en el barrilete para reforzarlo frente a la grietas detectadas en la inspección realizada durante la recarga anterior.

La central española de Santa María de Garoña tiene previsto realizar una operación de reparación análoga durante el primer trimestre de 1997.

Propuesta de sanción al fabricante de Thermo-Lag

La NRC ha propuesto una sanción económica de 900.000 dólares a la Compañía Thermal Science Inc. (TSI), fabricante del material utilizado en barreras contra incendio Thermo-Lag. La cuantía de esta sanción es la segunda más alta propuesta por la NRC.

La NRC ha considerado que TSI incurrió en violaciones deliberadas y reiteradas de la legislación al presentar información inexacta en relación con los ensayos de resistencia al fuego del material Thermo-Lag.

Información sobre bases de diseño

La NRC ha solicitado a los titulares de las centrales de Estados Unidos el envío de información sobre la disponibilidad e idoneidad de la documentación relativa a las bases de diseño de cada central nuclear. Dicha solicitud, realizada en virtud del apartado f del 10CFR 50.54, es una consecuencia del descubrimiento de inconsistencias entre las prácticas de operación y los análisis incluidos en el Estudio Final de Seguridad de la Central de Millstone.

Por su parte, el CSN ha realizado una revisión del estado de los sistemas de refrigeración y purificación de las piscinas de almacenamiento de combustible irradiado de las centrales

Centrales nucleares españolas

Sustitución de generadores de vapor en Almaraz y Ascó

Durante el verano de 1996 se realizó la sustitución de los generadores de vapor de la unidad I de la central nuclear de Almaraz y de la unidad II de Ascó, con paradas de 79 y 76 días, respectivamente.

El CSN realizó un intenso trabajo de evaluación e informó al Ministerio de Industria para las autorizaciones de puesta en marcha del edificio de almacenamiento temporal de los generadores de vapor y para la puesta en marcha de la central tras la sustitución. El CSN emitió apreciación favorable de las bases del proyecto de sustitución, del inicio de las actividades de montaje, de la criticidad inicial y de los resultados de las pruebas de arranque.



Transporte y cambio de generadores de vapor en Ascó II.

Para Almaraz se realizaron simultáneamente los trabajos de evaluación relativos a la sustitución de la tapa de la vasija a presión del reactor que se llevó a cabo en el transcurso de la parada.

Programa de pruebas en Trillo

Durante los meses de octubre y noviembre tuvo lugar la parada para la octava recarga de combustible de la central. En el transcurso de la para-

da, y dentro del Programa de Análisis de Experiencia Operativa y Sistemas (AEOS), se procedió a realizar un programa de pruebas con el doble objetivo de verificar parámetros adicionales a los comprobados duran-

te la puesta en marcha de la central y de repetir algunas comprobaciones de las realizadas en la puesta en marcha, cuyos resultados indicaban alguna posible deficiencia de funcionamiento de sistemas o componentes.

La finalización del AEOS está prevista para el mes de marzo de 1997, una vez realizada la consolidación y documentación de las bases de diseño de la central.

nucleares españolas y ha detectado algunas situaciones que fueron comunicadas a los titulares en el mes de noviembre con la solicitud de que se identifiquen y establezcan, en el plazo de tres meses, las medidas necesarias para corregir las inconsistencias entre los documentos oficiales de explotación de las centrales, procedimientos y prácticas.

◀ CICLO DE COMBUSTIBLE Y GESTIÓN DE RESIDUOS

El Departamento de Energía de EEUU tiene que retirar el combustible gastado

El pasado 23 de julio, la corte de apelación del distrito de Columbia de Estados Unidos decidió obligar incondicionalmente al Departamento de Energía (DOE) a aceptar combustible nuclear gastado de las centrales nucleares, de acuerdo con lo fijado en la Nuclear Waste Policy Act (NPWA) de 1982, estableciendo como fecha para empezar a cumplir esta obligación el 31 de enero de 1998. La Corte interpreta que la NPWA crea una obligación al DOE recíproca a la obligación de las instalaciones a pagar los costes para comenzar a retirar combustible gastado. Dados los largos periodos de tiempo necesarios, es dudoso que el programa de repositorios se acelere significativamente. Sin embargo, un almacenamiento temporal está relativamente cercano.

Problemas en Alemania para la gestión de residuos

El Ministerio de Medio Ambiente y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania se opone a los planes de

gestión internacional de los residuos radiactivos. La ley alemana obliga a las empresas eléctricas a planificar la gestión del combustible gastado seis años antes de la fecha prevista para la parada definitiva de la central. La oposición nuclear trata de romper la estrategia actual de almacenar durante décadas el combustible gastado en un almacén temporal en Gorleben.

La ministra Angela Merkel ha declarado que no apoyará a quienes, después de las revueltas habidas con motivo de los transportes de residuos a Gorleben, tratan de tejer un plan para que Alemania coloque sus residuos nucleares fuera de sus fronteras porque se enviaría una señal equivocada en momentos en que la credibilidad del programa alemán para la gestión de los residuos está en entredicho.

Almacenamiento geológico profundo en el Reino Unido

Nirex Ltd. está analizando las ofertas para construir el laboratorio geológico profundo de residuos radiactivos mientras espera el permiso del Gobierno del Reino Unido. El pasado mes de octubre recibió contestación de tres consorcios interesados en construir la primera fase del laboratorio subterráneo en granito, por un total de 194 millones de dólares, cerca de Sellafield, donde se encuentra el complejo de reprocesado de combustible. Sin embargo, el gobierno británico dispone todavía de cuatro meses para decidir si permite que dicho proyecto siga adelante.

Esta instalación para caracterización del medio rocoso (RCF, en inglés Rock Characterization Facility) es esencial para la toma de decisiones. Se espera que la RCF proporcione los datos hidrológicos y geológicos sobre los que ba-

sar los argumentos de seguridad para justificar el emplazamiento del DWR (Deep Waste Repository).

Diez organizaciones de varios países, entre ellos España, desean verificar los modelos que permitan conocer de qué manera el repositorio podrá afectar a los flujos de aguas subterráneas comparando sus resultados con los obtenidos en RCF.

Prórroga del permiso de explotación de El Cabril

El pasado 26 de septiembre el Pleno del CSN informó favorablemente la prórroga, por cinco años, del permiso de explotación provisional de la instalación de almacenamiento de residuos de El Cabril. El dictamen del CSN contiene un total de 20 especificaciones que condicionan el funcionamiento de la instalación desde el punto de vista de la seguridad nuclear y la protección radiológica, de obligado cumplimiento por el explotador de la instalación.

Técnicos del CSN estudiaron la documentación presentada. A lo largo de los cuatro años anteriores se efectuaron un total de 53 inspecciones a la instalación, controlando su funcionamiento mediante el seguimiento y evaluación de 56 informes periódicos. El control del inventario de la actividad total autorizada para su almacenamiento ha supuesto un seguimiento continuo de las tareas de llenado de las celdas antes de proceder al cierre de cada una de ellas y se ha comprobado el cumplimiento, por parte de Enresa, de los límites y condiciones de funcionamiento del permiso anterior.

El Ministerio de Industria y Energía emitió, con fecha 8 de octubre de 1996, la correspondiente orden ministerial.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Estudios sobre radón en agua de bebida

En Estados Unidos se están llevando a cabo estudios encaminados a la enmienda de la ley sobre agua de bebida, en cumplimiento de un mandato del presidente del país. La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), que en 1991 propuso un valor máximo de concentración de actividad de 300 pCi/litro, deberá esperar para realizar la enmienda hasta que la Academia Nacional de Ciencias efectúe un estudio sobre los beneficios para la salud que se obtendrían con diversas medidas de mitigación que redujeran las concentraciones de radón en el interior de viviendas. La legislación estadounidense da un plazo de tres años para establecer los valores estándar y la ley deberá estar redactada dentro de los 12 meses siguientes.

Proyectos de reconstrucción de dosis

En Estados Unidos se están llevando a cabo estudios que permitan calcular las dosis recibidas por la población en el pasado. Uno de los estudios se centra en la población que vive en un entorno de 10 kilómetros del área de producción del Feed Materials Production Center, situado al noroeste de Cincinnati. Las instalaciones, que estuvieron operativas desde 1951 a 1988, tenían como objetivo producir uranio

metal a partir de concentrados de ciertos minerales de uranio y de productos reciclados obtenidos en el programa de armamento nuclear. En menor proporción y esporádicamente procesó también compuestos de torio.

Una empresa privada bajo contrato con Centers for Disease Control and Prevention, ha evaluado las actividades de material radiactivo liberado, desarrollando la metodología del transporte en el medio ambiente de dichos contaminantes; también ha puesto a punto los modelos matemáticos para el cálculo de dosis de la población y ha estudiado los datos de la vigilancia ambiental de la zona.

Asimismo se están realizando estudios relacionados con la reconstrucción de las dosis ambientales en lugares utilizados por el Gobierno norteamericano para producción y pruebas de armamento nuclear, en el marco de un acuerdo entre los departamentos de Energía y Salud y Servicios Humanos.

A pesar del coste asociado, un estudio llevado a cabo por C.W. Miller y J.M. Smith (National Center for Environmental Health and Center for Disease Control and Prevention) discute alguno de los beneficios que tales estudios aportan, incluyendo cómo pueden ser empleados sus resultados en la estimación del impacto pasado, presente y futuro de contaminantes sobre la salud pública.

Migración de contaminantes

Los radionúclidos procedentes de las instalaciones de almacenamiento del Departamento de Energía (DOE) en Hanford, Washington, pueden haber migrado mucho más lejos de lo que previamente se había pensado, de acuerdo con los hallazgos del DOE comunicados en junio del pasado año.

Según el DOE, el Co-60 se ha encontrado para determinada instalación a profundidades entre 100 y 125 pies y el Cs-137 a 125 pies; otros datos del DOE indican que el Te-99 y el cromo pueden haberse incorporado al agua subterránea, a unos 250 pies por debajo del nivel del suelo.

CURSOS, REUNIONES Y CONFERENCIAS

Radiation Protection in Interventional Radiology

El curso, cuya realización fue adelantada en el número anterior de la revista, se celebrará en Madrid durante los días 12, 13 y 14 de mayo de 1997 en el Ciemat y está organizado por la Dirección General XII de la Unión Europea (European Radiation Protection Education and Training), la Universidad Complutense de Madrid y el Ciemat. Cuenta con el patrocinio de la European Association of Radiology (EAR) y la International Society of Radiographers and Radiological Technologists (ISRRT).

IV Congreso de la Sociedad Española de Protección Radiológica

La Sociedad Española de Protección Radiológica celebró en Córdoba su IV congreso a finales del pasado mes de oc-

tubre. Con este motivo tuvo lugar la primera reunión de los presidentes de sociedades iberoamericanas de protección radiológica, con participación de México, Brasil, Perú, Argentina, Portugal, Cuba y España. Los presidentes de las respectivas organizaciones visitaron el CSN y celebraron reuniones de trabajo para el intercambio de experiencias y puesta en común de los diversos aspectos relacionados con la protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos de las radiaciones ionizantes.

III Congreso Nacional del Medio Ambiente



Stand del CSN en el III Congreso Nacional del Medio Ambiente.

Del 25 al 29 de noviembre de 1996 se celebró en Madrid el III Congreso Nacional del Medio Ambiente, organizado por el Colegio Oficial de Físicos. El CSN instaló, como en ocasiones anteriores, un stand sobre sus actividades en protección radiológica ambiental, como los valores ofrecidos por la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (Revira), que cuenta con 25 estaciones automáticas de medida de los niveles de radiación ambiental y de la concentración de actividad en aire. El presidente del CSN participó en la sesión dedicada a estrategias energéticas y cambio climático, y un técnico del organismo formó parte del grupo de trabajo de residuos de alta actividad.

Jornada científica sobre epidemiología y radiaciones ionizantes

El pasado 11 de noviembre tuvo lugar una jornada científica, organizada por la Sociedad Española de Protección Radiológica, con el patrocinio del CSN, Ciemat, Enusa, Unesa y Enresa, sobre epidemiología y radiaciones ionizantes. Manuel Domínguez Cardona, catedrático de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Universidad Complutense de Madrid, presentó una ponencia sobre el método epidemiológico y la investigación oncológica, y Elisabeth Cardis, jefa del Programa de Radiación y Cáncer, de la Agencia Internacional para la Investigación contra el Cáncer (IARC), explicó el alcance del estudio internacional sobre el riesgo de cáncer en los trabajadores de la industria nuclear, en el que participa España.

La clausura fue presidida por el consejero del CSN José Ángel Azuara, y contó con la participación del director general de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo y la subdirectora general del Centro Nacional de Epidemiología, Instituto de Salud Carlos III.

Radiaciones ionizantes, efectos y protección

El Colegio Oficial de Físicos y la Fundación Ramón Areces, celebraron, el pasado mes de noviembre, unas jornadas dedicadas a presentar una panorámica actualizada sobre los mecanismos de muerte celular a causa de las radiaciones ionizantes, los riesgos de inducción de cáncer por bajas dosis de radiación y el presente y futuro de la protección radiológica.

Además de catedráticos españoles y responsables médicos de hospitales nacionales, intervinieron representantes del Institute of Cancer Research y del National Radiological Protection Board (ambos del Reino Unido) y de la Radiation Protection and Waste Management División de la OCDE.

Reunión de especialistas en combustible nuclear y barras de control

Organizada por el CSNI (Committee on the Safety of Nuclear Installations) de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE, se celebró en la sede de Unesa en Madrid, del 5 al 7 de noviembre, una reunión de especialistas en combustible nuclear y barras de control a la que asistieron 125 expertos de 19 países.

Las sesiones inaugurales y de clausura estuvieron presididas, respectivamente, por Agustín Alonso y Rafael Caro, consejeros del CSN. Durante la reunión se discutieron los puntos que constituyen una mayor preocupación para los expertos, como la utilización del combustible en ciclos de operación cada vez más amplios, lo que puede producir incertidumbres acerca del comportamiento del combustible o efectos adversos derivados de un mayor grado de quemado; los problemas de inserción incompleta de las barras de control detectados en ciertas centrales; la necesidad de completar los objetivos de los programas de prueba del combustible; la introducción de modificaciones de *pequeño alcance* en el diseño del núcleo o el combustible, que pueden resultar en efectos adversos para la seguridad y la adopción de nuevas estrategias de gestión y operación; y el grado de validez de los análisis genéricos para evaluar los efectos de estos hechos sobre la seguridad de una central específica.

Máster en energía nuclear

Como en años anteriores, se ha organizado durante 1997 un máster en energía nuclear para postgraduados, que concede la Universidad Autónoma de Madrid con la colaboración de la infraestructura del Ciemat. El curso consta de tres módulos: física y química de reactores nucleares, tecnología nuclear, y protección radiológica y seguridad nuclear. Instituto de Estudios de la Energía. Tf: (91) 346 6721. Patrocinan Ensa, Tecnatom, Enusa, Iberdrola, Endesa, Unesa, Enresa y CSN.

● PUBLICACIONES

Manuales prácticos de seguridad para instalaciones radiactivas

El CSN ha traducido y editado los manuales prácticos de seguridad radiológica del OIEA, que surgieron ante la necesidad de disponer de guías prácticas para diversos campos de aplicación, orientadas primordialmente a las personas que manejan fuentes de radiación en instalaciones radiactivas. Los manuales representan, a la vez, un apoyo a los esfuerzos que realizan las autoridades con el objetivo de capacitar en materia de protección radiológica a los trabajadores o el personal médico auxiliar, o de ayudar a las administraciones locales a establecer sobre el terreno normas de protección radiológica.

Los tres manuales editados por el CSN, que se distribuyen gratuitamente, están dedicados a medidores nucleares, recintos blindados y gammagrafía industrial. Los tres constan de guías de aplicaciones, procedimientos y fundamentos básicos.

La información recogida en estos manuales no sustituye los requerimientos de obligado cumplimiento establecidos en la reglamentación española aplicable y en las especificaciones de funcionamiento recogidas en las autorizaciones de las instalaciones radiactivas.

Informal Meeting of the EU Regulatory Organizations

Toledo, Spain. November 16-19, 1995

Esta publicación del CSN resume la reunión informal de los organismos reguladores europeos que se celebró, a instancias del organismo español, a finales del pasado año, con motivo de la presidencia española de la Unión Europea. El documento, publicado en inglés, recoge el contenido de las sesiones en las que se organizó la reunión: presentación de cada organización reguladora e intercambio de experiencias; discusión sobre el Tratado Euratom; impacto de la Convención sobre Seguridad Nuclear; intercambio de opiniones sobre la Convención de Residuos Radiactivos; y armonización de criterios.

International Conference. 8-12 April 1966. One Decade after Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. Summary of the Conference Results

Documento publicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) de Naciones Unidas, que recoge las conclusiones principales de la conferencia internacional sobre el impacto del accidente de Chernóbil, celebrada en Viena el pasado mes de abril. En tan sólo 11 páginas, el documento resume los aspectos más destacables de una conferencia que contó con un gran número de ponencias y trabajos.

Ética y tecnología nuclear

Editada por la Sociedad Nuclear Española con la colaboración del CSN y Enresa, la publicación recoge el contenido de las jornadas del mismo nombre, de cuya celebración se dio información en el primer número de esta revista.

History of the Eurochemic Company, 1956-1990

OCDE, París 1996

Eurochemic fue la primera empresa de la Agencia de Energía Nuclear, que fue establecida en diciembre de 1957 por 13 gobiernos europeos. Su contribución científica y técnica en el campo de la química nuclear en Europa sirvió de entrenamiento a numerosos especialistas. La planta piloto en Mol (Bélgica) ha procesado una gran variedad de tipos de combustible. Eurochemic facilita la tecnología del reciclado de combustible gastado entre los países de la Europa Occidental. La imposibilidad de permanecer en el mercado obligó a caminar hacia su fin en 1975. El libro explica la interesante historia que, para la investigación y el desarrollo tecnológico avanzado, tuvo un esfuerzo realizado en común, que se llamó Eurochemic.

Climate Change Policy Initiatives

Volume II: Non - OECD Countries 1994-1995. Update
Energy and the Environment Series IEA, International Energy Agency

Este libro proporciona una puesta al día sobre información relativa al desarrollo de las políticas nacionales para limitar las emisiones del CO₂, derivadas de la energía y otros gases con efecto invernadero. Son considerados 20 países no pertenecientes a la OCDE con diferente nivel de desarrollo.

Radioactive waste management in perspective

OCDE Publications. París 1996

Este informe, conciso y claramente escrito, está dirigido a los lectores que, no siendo especialistas, están interesados en la gestión de los residuos radiactivos dentro del área de la OCDE. Mediante anexos se recogen los programas de gestión de residuos radiactivos en los países de la OCDE.

Uranium 1995: Resources, Production and Demand

OCDE. Publications. París 1996

Este informe conjunto de la Agencia de Energía Nuclear y de la Agencia Internacional de Energía Atómica presenta los resultados de 1995 sobre suministro y demanda de uranio en el mundo. La publicación constituye la primera referencia en este campo.

Global Energy. The Changing Outlook

IEA, International Energy Agency

Hacia el 2005 se espera, según los expertos de la Agencia de Energía Nuclear, que los países no miembros de la OCDE alcancen más de la mitad de la demanda de energía global, y que incrementen su contribución mayoritaria de producción de energía. Este importante estudio examina los desarrollos recientes en la demanda y suministro de energía en estos países o áreas, así como su repercusión en los países miembros de la OCDE.

(Page 2)

**R+D management
in the electrical sector**

☉ José Ángel Azuara

Research and development activities have a lot to say in the energy technology debate. In view of the strategic dimension of energy in developed societies, the author defends the need to strengthen research in the electrical sector to make it possible for current technologies to evolve and generation processes to be studied as from innovating materials and systems.

(Page 10)

**Epidemiology and effects
on health of low ionizing
radiation doses**☉ F. Rodríguez Artalejo,
B. de Andrés Manzano and
J. del Rey Calero

This article describes the concept and aims of epidemiology, its methods and contribution to the knowledge of the effects of low ionizing radiation doses on health. The advantages of epidemiological

Resúmenes

studies for knowing the consequences of living near nuclear facilities and the effects of occupational exposure to radiations are also described.

(Page 20)

The energy amplifier☉ J.A. Rubio and
E.M. González Romero

The concept of the energy amplifier devised by the researcher Carlo Rubbia is described in this article; the authors also relate the opportunities for using it to produce energy and the advantages of this capability to regenerate fuel whilst reducing the toxicity of waste to one ten-thousandth of that from conventional nuclear power plants.

(Page 27)

**Optimization of radiological
protection in Spanish
nuclear power plants**☉ P. O'Donnell, I. Amor and
J.L. Butragueño

Optimizing the radiological protection of occupationally exposed nuclear power plant workers has become one further item in what is called the safety culture. Spanish facilities are implementing programmes with this in mind, grounded on a personal motivation policy with the backing of a suitable organizational structure.

(Page 32)

**Nuclear regulation
in the United States**

☉ Shirley Ann Jackson

Lecture given by the President of the US Nuclear Regulatory Commission (NRC) last September in which the main challenges facing the nuclear sector and regulatory activity both in the United States and in other countries in the immediate future are discussed.

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) 345 05 58.



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

Justo Dorado 11
28040 Madrid