

Revista del CSN / Año I / Número 3
II Trimestre 1997

Seguridad Nuclear



**La evolución de la
regulación nuclear**

**El levantamiento del terreno
en la central nuclear Ascó II**

El concepto de APS Vivo

**La percepción del riesgo
radiológico en España**

**Nuclear Mis-Communication:
Who's to Blame?**

Seguridad Nuclear

Revista del CSN

Año I / Número 3

II Trimestre 1997

Director

Rafael Caro

Comité de redacción

Agustín Alonso, Alfonso

Arias, José A. Azuara, Aní-

bal Martín, Juan M. Kinde-

lán, Carmen Martínez Ten

Noticias

Directora

Matilde Ropero

Comité

A. Esteban Naudín, G. Ló-

pez Ortíz, Javier Reig, M.

Rodríguez Martí, M. F. Sán-

chez Ojanguren, M. A. Vi-

llar Castejón.

Secretaría de redacción

Fátima Rojas

Consejo de

Seguridad Nuclear

Justo Dorado, I I

28040 Madrid

Tf. 346 02 00

Fax. 346 06 66

Diseño y maquetación

ACK Comunicación

Avenida de Burgos, 48. 3ºE

28036 Madrid

Tf. 383 28 33

Fax. 383 29 01

Impresión

Ibertráficas S.A.

Lope de Rueda 11 y 13

28009 Madrid

ISSN: 1136-7806

D. Legal: M. 31.281-1996

Portada: Ondas#1. José Ma-
ría Cerezo / ACK Comunica-
ción.

Los autores asumen la total
responsabilidad de los traba-
jos que firman. El CSN al pu-
blicarlos no pretende expresar
su acuerdo con ellos.

1

Editorial

2

La evolución de la regulación nuclear

● Aníbal Martín

11

El levantamiento del terreno en la central
nuclear Ascó II

● José García Sánchez y Luis Ubalde

19

El concepto de APS Vivo

● José Ignacio Calvo

28

La percepción del riesgo radiológico en
España

● Rosario Martínez-Arias, Ana Prades, Rebeca Meza y Rosario Solá

35

Nuclear Mis-Communication: Who's to
Blame?

● Ann MacLachlan

40

Noticias

40 Consejo de Seguridad Nuclear / **43** Información
general / **44** Tecnología / **44** Centrales nucleares /
46 Ciclo del combustible y gestión de residuos /
46 Protección Radiológica **46** Cursos reuniones y
conferencias / **47** Publicaciones

49

Resúmenes

Editorial

Durante el congreso celebrado a finales del mes de enero en Córdoba sobre la regulación de los almacenamientos de residuos radiactivos de alta actividad, expertos de varios países debatieron ampliamente los numerosos aspectos, tanto técnicos como sociales, que afectan a esta clase de instalaciones y estuvieron de acuerdo en la necesidad de que en el proceso de toma de decisiones participen instituciones de toda índole. Existió, además, un consenso generalizado sobre el hecho de que no sólo hay que garantizar la seguridad de los emplazamientos, sino que es necesario crear un clima que genere confianza en la actividad reguladora.

Parece claro que esa confianza tiene que nacer de la adecuada transmisión de información entre los diferentes estamentos y agentes implicados, para lo cual se requiere un ejercicio constante de comunicación, que debe ser practicado con el mayor rigor y la máxima transparencia posible. Sólo esta práctica constante permitirá superar la falta de entendimiento que describe la periodista Ann MacLachlan, especializada en temas nucleares, en este mismo número de *Seguridad Nuclear*.

En cuestiones tecnológicas sobre las que la sociedad se muestra particularmente sensible, la percepción está claramente más acentuada en los riesgos generados que en los beneficios. Así se constata en el estudio de la percepción del riesgo radiológico que se está realizando en el marco de la Unión Europea, cuyos primeros resultados se recogen en un artículo de esta revista, y que pone de manifiesto que esa percepción tiene una lógica social modulada por el grado de conocimiento de las ventajas e inconvenientes y el grado de participación de la sociedad en la toma de decisiones. Para el CSN, que entre sus obligaciones tiene la de informar a las instituciones y al público de las condiciones de seguridad nuclear y radiológica de las instalaciones del país, esa percepción es una cuestión siempre presente, que exige aún más consideración y prudencia a la hora de explicar, con rigor técnico, el trabajo cotidiano de control y supervisión.

Nos enfrentamos, por otra parte, a conflictos que son universales y que trascienden las propias fronteras. La colaboración con otros países en las cuestiones relacionadas con la regulación de las instalaciones es una actividad esencial del CSN. Cabe destacar que, además de la participación habitual de los expertos del organismo en foros internacionales, durante los primeros meses del año se han producido dos hechos de importancia singular. Por una parte, España ha quedado integrada en la asociación internacional, promovida por la NRC, de organismos reguladores de la seguridad nuclear y radiológica, de la que forman parte otros siete países (Canadá, Alemania, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Japón y Suecia); por otra parte, el CSN ha alentado la constitución de un foro de organismos reguladores iberoamericanos para el intercambio de información legal, técnica y organizativa de interés mutuo, en el que inicialmente se han integrado Argentina, México y Brasil. Ambos acontecimientos representan un reconocimiento del nivel español de regulación de la seguridad en las instalaciones. Precisamente sobre la evolución histórica del proceso de regulación se incluye un artículo en este número de la revista.

La evolución de la regulación nuclear. Aspectos actuales de la estrategia reguladora

En la ya no tan corta historia de la actividad reguladora nuclear se aprecian rasgos y razones específicas que han caracterizado y condicionado su evolución, así como la de la industria. Actualmente existen retos

definidos que van a condicionar la evolución futura de la regulación. La exigencia de mayor eficacia plantea la conveniencia de basar cada vez más las actuaciones en estrategias firmemente establecidas.

1. Introducción

La regulación de la seguridad nuclear ha evolucionado con el desarrollo de la actividad nuclear en su conjunto. Uno puede preguntarse si la propia actividad es la que ha condicionado y arrastrado la evolución reguladora o viceversa, apreciándose inmediatamente que la constante interacción entre ambas obliga a consideraciones más detenidas acerca de los complejos elementos determinantes que intervienen. Las propias características de la actividad nuclear, y no solamente por sus riesgos para la salud pública y el medio ambiente, suponen una fuerte e imbricada interacción de los entornos científico, tecnológico, empresarial, financiero, político, social, de la comunicación, del marco internacional y el de la experiencia obtenida de la explotación. Las dificultades encontradas en la resolución de situaciones nuevas no han sido ocasiona-

das con frecuencia por los propios retos tecnológicos, sino más bien por la falta de una consideración y entendimiento profundo de estas interacciones.

El futuro de la actividad nuclear va a depender en buena forma de cómo se entiende y asimila esta complejidad para construir un escenario cada vez más racional, predecible, aceptable y, por lo tanto, más estable y eficaz.

2. Unos apuntes de historia

Al comienzo, en 1946, y como primer hito significativo, se publica en Estados Unidos la Ley de Energía Atómica (Atomic Energy Act). La primera prioridad de esta ley era la de mantener un estricto control sobre la tecnología y su explotación para fines militares, creándose así un monopolio del Gobierno. Esta ley creó la Atomic Energy Commission (AEC), compuesta por cinco miembros; reconocía de pasada los posibles beneficios en el terreno pacífico de la energía nuclear, en un entorno sociopolítico que, aún dominado por el poder militar, hacía que políticos, medios

de comunicación, científicos y hombres de empresa vieran también un inmenso potencial de aplicaciones civiles.

El progresivo deseo de demostración de este potencial de aplicaciones pacíficas, también presente en Reino Unido, Francia y Unión Soviética, movió a Estados Unidos a revisar la ley de 1946 en el año 1954. La nueva Ley de Energía Atómica terminaba con el monopolio del Estado en materia de información técnica y convertía en un objetivo prioritario el desarrollo de la industria nuclear comercial. Esta ley de 1954 asignó a la AEC tres papeles fundamentales que con el tiempo resultarían contradictorios entre sí: el programa armamentístico, la promoción de la industria nuclear y la protección de la salud pública de los posibles riesgos de la energía nuclear civil.

La prioridad de la actividad promotora condicionó el programa regulador de la AEC, que tuvo que crear y desarrollar en este ambiente sus políticas reguladoras, así como su propia estructura funcional. El cuerpo técnico de la AEC, crea-

* Doctor ingeniero industrial, Sc. M. en Nuclear Engineering por el MIT, es en la actualidad vicepresidente del CSN.



● Figura 1. Sede del Consejo de Seguridad Nuclear.

tical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants, el cual, una vez reconocida la verosimilitud de un accidente, incluye consideraciones sobre las dificultades de la evaluación del riesgo y trata de dar un enfoque coste-beneficio a las cuestiones de seguridad que suscita. Esta dinámica culminó con la aprobación de la propuesta Price-Anderson en 1957, que estableció una cobertura del riesgo mediante el establecimiento de un seguro suscrito por el titular y por el Gobierno.

Todo esto sucedió a final de la década de los años 50 y comienzos de los 60. Los niveles de opinión pública eran muy favorables entonces a la energía nuclear, como lo prueban las encuestas y las publicaciones de la época; sin embargo, existía un cierto grado de inquietud a propósito del poso radiactivo proveniente de las múltiples pruebas de armas nucleares en la atmósfera y de los correspondientes riesgos para la población de quedar expuesta a la radiactividad en general, fuera cual fuera la fuente. La controversia generada por dicho poso de las pruebas ocasionó duros debates, por vez primera, sobre los riesgos de la radiación y afectó a la actividad reguladora de la AEC, quien adoptó en 1960 las nuevas recomendaciones de la NCRP y la ICRP como parte de sus regulaciones. También se anotaron movimientos ciudadanos de protesta contra el vertido incontrolado al océano de desechos de baja actividad y la construcción de plantas nucleares en núcleos urbanos (caso de la propuesta fallida de Ravenswood, en Nueva York, en 1963).

También al comienzo de la década de los 60 se asistió a un rápido incremento en el número de pedidos de plantas nucleares y un si-

do a raíz de la ley de 1954, se enfrentó a la no fácil tarea de preparar regulaciones y poner en práctica procedimientos de licencia suficientemente rigurosos y, a la vez, lo suficientemente flexibles y abiertos para acomodar las consecuencias de la rápida evolución tecnológica; de ahí, por ejemplo, el sistema de permisos de construcción y de explotación frente al más lógico de un permiso único. Tampoco resultó posible ir a un sistema de licenciamiento genérico, que tuvo que establecerse caso por caso con las correspondientes consecuencias.

En esta evolución, resulta conveniente citar el papel de un panel de expertos externos, el ACRS (Advisory Committee on Reactor Safeguards), que proporcionaba otro nivel de revisión y cuyas reco-

mendaciones iban directamente al Pleno de la Comisión. Sus actuaciones resultaron decisivas en los tiempos iniciales, siendo notable el caso del reactor rápido comercial PRDC, propuesto en 1956, cuyas discusiones alcanzaron al Comité Conjunto de las cámaras legislativas. Con este motivo, el senador Anderson llegó a proponer la separación de las actividades reguladoras de las promotoras y, aunque no se juzgó oportuna la medida por el momento, se introdujeron, no obstante, importantes medidas de reforma, reforzando el estatuto del ACRS, posibilitando la publicidad de sus informes y el debate público (*hearings*) de las solicitudes de licencia.

De 1957 es el destacable informe de la AEC, *WASH-740 Theore-*

multáneo crecimiento del tamaño de las unidades, propiciado por diversas causas, entre otras el éxito de la primera generación de centrales ofrecidas por los suministradores mediante contrato *llave en mano*, lo que permitió a las empresas eléctricas asumir el riesgo económico de la hasta entonces desconocida e incipiente explotación nuclear. Este programa nuclear generó unas fuertes demandas en la AEC en múltiples órdenes, incrementándose los tiempos de respuesta no sólo por el número de solicitudes sino por la complejidad creciente de cada expediente.

Las bases fundamentales de evaluación estaban constituidas por los elementos disponibles, como el buen criterio de ingeniería, las redundancias y un conjunto de sólidas regulaciones prescriptivas, que cada vez eran más detalladas, voluminosas y exigentes. Las preocupaciones de la AEC (*WASH-740*) y del ACRS sobre la seguridad última continuaron en aumento, cuestionándose la idoneidad de la contención como última barrera en el hipotético caso del fallo de las salvaguardias. Un accidente de fusión de núcleo causado por una pérdida de refrigerante podría, en determinadas circunstancias, desencadenar un fallo de la contención. En 1967 la comisión designada al efecto para estudiar este asunto confirmó esta posibilidad, aunque consideraba improbable la fusión del núcleo y confirmaba la fiabilidad de los sistemas de refrigeración. Estas conclusiones representaron un hito importante en la evolución de la regulación, que siguió progresando. La posterior revisión a fondo –al comienzo de la década de los 70– del comportamiento de los sistemas de refrigeración de emergencia (ECCS) condujo a arduos debates y al establecimiento de criterios transitorios de aceptación (*ECCS interim acceptance criteria*), que tenían que ser cumplidos por los solicitantes de autorización. El caso de la licencia de operación de Indian

Point-2 abrió el camino a los grupos críticos para poner en cuestión estos criterios, lo cual forzó a la AEC a abrir sesiones públicas sobre el tema del ECCS, quedando dañada su credibilidad y su capacidad de iniciativa.

Son también los años de la toma de conciencia pública del impacto ambiental y de la contaminación térmica. Una actuación imprecisa de la AEC en estos campos también contribuyó al descenso de su credibilidad mientras nuevos temas seguían apareciendo, como la necesidad de limitaciones más severas en las descargas líquidas y cuestiones relacionadas con la gestión de residuos de alta actividad. En 1971 el grado de confianza pública en la AEC continuaba dismi-



nuyendo y el apoyo a la energía nuclear también. Son también los años del desencanto social con el Gobierno, las instituciones, la ciencia, la tecnología.

Como resultado de todo esto, y con ocasión de la crisis energética provocada en 1973-74 por el embargo del petróleo árabe, el Congreso, a propuesta del presidente, decidió crear una nueva agencia, centrada en los aspectos reguladores y con capacidad para licenciar con eficacia las instalaciones nucleares que entonces se preveían necesarias. La Energy Reorganization Act de 1974 separó la antigua AEC en dos agencias: la Energy Research and Development Administration y la Nuclear Regulatory Commission.

La historia puede continuarse y en un esfuerzo, no pretendido aquí, pueden contemplarse los paralelos en otros países de nuestro entorno, así como en el nuestro propio. En el plano internacional la actividad asociada a convenciones, acuerdos y trabajos de los organismos internacionales ha ido mostrando que la actividad reguladora trasciende a las propias fronteras y universaliza progresivamente sus conceptos y prácticas.

La breve y necesaria referencia a España confirma los aspectos básicos del proceso apuntado. Se creó la Junta de Energía Nuclear en 1951. La Ley de Energía Nuclear es del año 1964. Las centrales nucleares de la primera generación, construidas *llave en mano*, recibieron sus primeras autorizaciones a partir de 1963. En 1971 se inicia un proceso de adjudicación, creciente en número, de nuevas unidades, todas ellas de agua ligera. Los tamaños de estas unidades aumentaron, acercándose a los 1.000 MW de potencia. En 1971 se crea Enusa para las actividades en relación con el ciclo del combustible, y en 1972 se crea Ensa, empresa dedicada a la fabricación de grandes componentes nucleares. En abril de 1980, mediante la Ley 15/1980, se independiza formalmente la actividad reguladora de la promotora y se crea el Consejo de Seguridad Nuclear.

El Plan Energético Nacional (PEN) de 1984 define el funcionamiento del parque nuclear y la moratoria de Valdecaballeros I y II, Lemóniz I y II, y Trillo II. En 1984 se crea Enresa, encargada de la gestión de los residuos, y el PEN de 1991 consagra la cancelación de las plantas en moratoria.

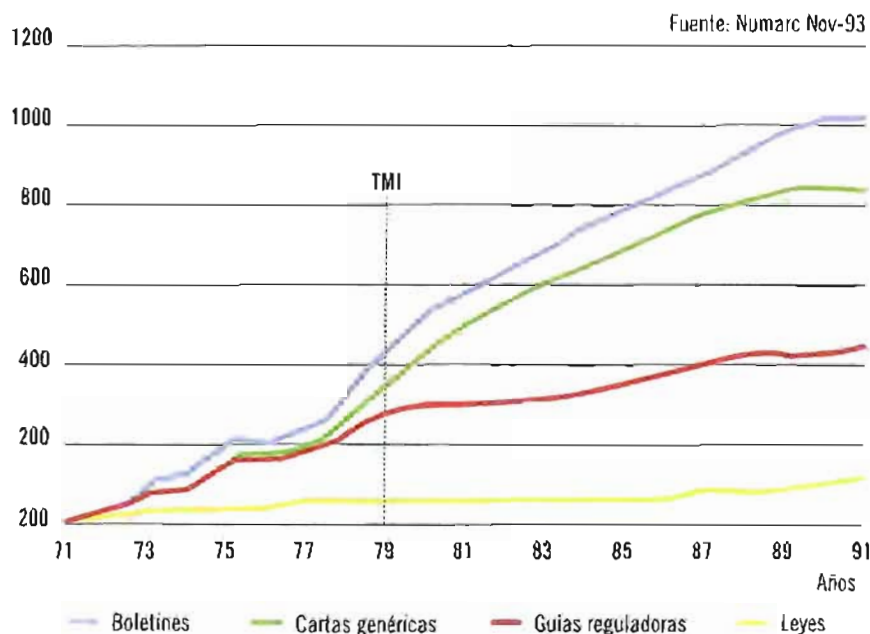
Todo este proceso histórico supone, en el arranque de la presente década, un grado de desarrollo regulador de la seguridad nuclear que ha tomado ventaja de la prioridad otorgada, del fortalecimiento de sus estructuras, de los mayores conocimientos tecnológicos, de los

programas de I+D finalizados y en curso, y de la experiencia operativa, que empieza a ser extensa. El accidente de TMI-II supuso importantes lecciones en el aspecto tecnológico y en el comportamiento humano, y el de Chernóbil supuso básicamente una confirmación y un impulso vigoroso a los principios y programas de trabajo previamente asumidos, adquiriendo especial relevancia los aspectos asociados a los accidentes severos y a la cultura de seguridad. Las técnicas de cuantificación del riesgo, desarrolladas eficazmente después del WASH-1400 de 1975, han entrado en fase de madurez y aplicaciones.

Pero quizás una de las consecuencias más tangibles de todo este proceso ha sido, además de la mejora en la seguridad, el gran incremento del número y volumen de la normativa y de la reglamentación. Es un clásico la figura 2, presentada por la industria de USA y construida con datos de la actividad de la AEC/NRC, en la que puede apreciarse, además del volumen, cómo TMI-II aceleró la dinámica de la normativa preceptiva. Cada país con instalaciones nucleares, de una forma más o menos directa, ha sufrido en sus regulaciones las consecuencias de este proceso, cuyo resultado es un amplio conjunto de regulaciones prescriptivo y de naturaleza determinista.

Este sistema, fruto de su tiempo, y a pesar de sus ventajas, adolece de faltas de objetividad y excesos de conservadurismo y presenta algunos retos conceptuales. No permite discernir qué acciones son más necesarias para conseguir el objetivo de mejorar la seguridad —es decir, de disminuir el riesgo— ni en qué grado, dificultando, por lo tanto, establecer prioridades sobre bases objetivas. Otro inconveniente apareció en el desarrollo de los primeros Análisis Probabilistas de Seguridad (APS), donde se apreciaba que el impacto sobre el riesgo de medidas a veces costosas no

Figura 2. Evolución de requisitos reguladores emitidos por el organismo regulador norteamericano.



era lo significativo, en términos de disminución del riesgo, que cabía esperar, así como que pequeños cambios de poco coste influían notablemente a favor.

Por otro lado, al comienzo de la presente década, la política energética de nuestro entorno ha ido introduciendo de manera progresiva elementos de liberalización en el sistema regulador económico de la industria eléctrica. La tensión de competitividad creciente en el ámbito de esta industria ha animado a que se levanten voces clamando por una reducción de costes para mantener la opción nuclear y, por lo tanto, la racionalización de la carga reguladora, manteniendo los niveles adecuados de seguridad.

Hay que anotar que este fenómeno no se da como hecho aislado en lo nuclear, sino que se da en el campo regulador en su conjunto. Hay casos publicados que demuestran cómo abusos de regulación prescriptiva (referencia 3) han conducido a efectos contrarios a los pretendidos, causados por una visión estrecha al intentar la eliminación fácil de un riesgo, sin estudiar debidamente las consecuencias negativas de las medidas previstas.

Se observa una demanda generalizada hacia la progresiva racionalización del ámbito regulador, con una mayor orientación hacia resultados, hacia una mayor eficacia y mejora de la comunicación con el administrado. Las técnicas de análisis de riesgo y el uso de la experiencia operativa proporcionan herramientas útiles para construir soluciones técnicas a estos retos.

En este contexto adquiere mayor significación el hecho de que el riesgo en una instalación no es un valor constante, sino que cambia con las diversas configuraciones de la planta, pudiendo existir algunas de estas configuraciones con un riesgo potencial significativo. Los APS pueden ser empleados para determinar estas situaciones y evaluar la significación de las distintas estrategias operativas posibles para prevenir riesgos indebidos y mantener la instalación en las condiciones óptimas en todo momento.

Todas estas consideraciones permiten conceptualmente romper el antagonismo entre número, volumen y carencias de las regulaciones deterministas y con la disminución progresiva del riesgo, pudiéndose apreciar que, con un uso

racional de los conocimientos y herramientas disponibles, se pueden conseguir ventajas apreciables simultáneamente, tanto en la seguridad de las instalaciones como en la eficacia de la acción reguladora, lo cual se traduce en optimización de recursos.

Para terminar con estas referencias históricas conviene mencionar que la NRC en Estados Unidos decidió en diciembre de 1992, después de solicitudes de la industria a comienzos de ese año, establecer un grupo de revisión (Regulatory Review Group) para examinar el marco regulador con el fin de identificar los cambios que debían propiciarse en el tiempo para reducir la carga innecesaria, y con el énfasis puesto en la seguridad y la salud pública, iniciándose así lo que puede considerarse una nueva etapa que afecte a todo el ámbito regulador.

3. La evolución reguladora

Se consideran a continuación tres apartados que giran en torno a las características del proceso evolutivo de la regulación. El primero se refiere a los aspectos destacables y de actualidad de los apuntes históricos del apartado anterior; el segundo se refiere a cómo el ámbito internacional ha de condicionar esta evolución, sobre todo de cara al futuro; y el tercero se centra en la importancia de que sea predecible la acción reguladora como premisa para su eficacia.

3.1. Aspectos históricos destacables

Se ha comenzado por unas breves notas históricas que contienen una gran significación sobre la esencia de la regulación, resaltándose a continuación algunos aspectos.

– *La necesidad de regulación específica.* La aparición de la regulación como parte de la propia actividad nuclear desde su mismo comienzo es una característica específica de esta industria. Precedentes similares en otras industrias eran virtualmente inexistentes. La regulación tuvo que crearse y desarro-

llarse para hacer frente eficazmente a los potenciales riesgos asociados a la actividad.

– *La independencia.* Este desarrollo de la regulación ha estado asociado a la evolución tecnológica, con diversos grados de subordinación a la actividad promotora y condicionado por ella, lo que después de vicisitudes imbricadas con la política energética, la opinión pública y la comunicación, ha conducido a potenciar su máximo nivel de independencia.

– *La capacidad técnica.* A lo largo de esta transformación se ha desarrollado la propia estructura de la organización reguladora y su dotación de medios, tanto humanos como técnicos de toda especie. El desarrollo del conocimiento y de nuevas herramientas y la formación de los técnicos constituyen elementos básicos para este desarrollo. La potenciación de un regulador competente e independiente ha sido y es clave para la seguridad como premisa de la actividad nuclear.

– *El desarrollo de la metodología determinista.* La formulación práctica de los requisitos reguladores ha ido dependiendo de las herramientas disponibles. Siempre se ha tenido presente la secuencia lógica base del proceso, la cual parte del concepto de seguridad y sigue por el cómo esta seguridad puede ser determinada y medida, comparando la que se dispone con la que se considera necesaria para así actuar en consecuencia. Al comienzo predominó el juicio informal de expertos combinado con metodologías deterministas referidas caso por caso, para ir progresando a la comparación con la central de referencia e ir evolucionando hacia el desarrollo de la pirámide básica de leyes, reglamentos y guías de aplicación general, fundamento del sistema vigente.

– *Las técnicas de análisis de riesgo.* Las técnicas de análisis probabilístico, con importantes referencias al comienzo de la década

de los 70 e incluso anteriores, toman cuerpo con la publicación en 1975 del *WASH 1400 Reactor Safety Study*. Otros hitos los constituyen el *NUREG-1050* que sobre las técnicas de análisis de riesgo disponibles completó la NRC en 1984, y el *NUREG 1150* de 1991, que supuso una evaluación concreta del riesgo de accidentes severos en cinco centrales nucleares en Estados Unidos. Los métodos desarrollados y los resultados obtenidos sentaron sólidamente las bases de estas técnicas. En España, la aplicación del *Programa Integrado de Realización y Utilización de los Análisis Probabilistas de Seguridad*, vigente desde su aprobación en junio de 1986 por el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, ha permitido conocer, desarrollar y aplicar estas técnicas, proporcionando un conocimiento del riesgo asociado a cada central nuclear.

– *La eficacia reguladora.* Toda esta evolución metodológica tiene un significativo impacto. A medida que evolucionan las herramientas, aumenta la experiencia operativa y el conocimiento adquirido a través de la investigación y el desarrollo tecnológico, se obtiene una visión más precisa de cada instalación y es posible pensar en términos de una racionalización paulatina de la acción reguladora, compatible con la disminución progresiva, racional y objetivada de los niveles de riesgo.

– *La demanda externa de mejora.* La variación en las condiciones de contorno en las que la energía nuclear presta un servicio genera nuevas demandas sobre la regulación. Las presiones competitivas y las reformas de los mercados eléctricos exigen la racionalización de la carga reguladora. Por otra parte, la sociedad demanda una continua reducción en el nivel de riesgo de las instalaciones. A estas demandas se puede responder haciendo uso de las nuevas herramientas disponibles, lo que va a permitir una progresiva cuantificación de los nive-

les de riesgo y, por lo tanto, una focalización paulatina de los recursos hacia los aspectos más significativos de la seguridad. Todos estos aspectos caracterizarán una nueva etapa en la evolución de la regulación que sólo será posible con la garantía del mantenimiento y reducción de los niveles de riesgo.

3.2. El ámbito internacional y la regulación

La seguridad nuclear constituye materia de la soberanía de cada Estado. El desarrollo y aplicación del concepto de seguridad por los distintos países no ha sido ni mucho menos homogéneo y presenta evidentes diferencias incluso en el nivel de seguridad operacional de las instalaciones entre países vecinos.

El accidente de Chernóbil es el paradigma que evidencia la necesidad de entender de forma homogénea la seguridad y su regulación en todo el mundo. En este sentido, organismos internacionales como el OIEA, como organismo de las Naciones Unidas, y la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OCDE tienen como una de sus misiones básicas la de facilitar y promover la coordinación entre los diferentes reguladores, desarrollando importantes programas al respecto. Del mismo modo, el establecimiento de las convenciones internacionales de Seguridad Nuclear, en vigor desde el pasado mes de octubre, y la de Residuos Radiactivos, actualmente en preparación, constituyen muestras evidentes de compromiso y armonización.

España como país firmante de la Convención de Seguridad Nuclear apoya firmemente este proceso de internacionalización. Al CSN, como organismo regulador español, le compete la participación activa en los foros internacionales y mantiene los necesarios acuerdos tanto bilaterales como multilaterales. No obstante, la competente actuación de estas organizaciones no está exenta de dificultades y limitacio-

nes asociadas a su propia estructura, existiendo iniciativas recientes de refuerzo y apoyo desde el llamado G-7 o grupo de países más potentes económicamente. Actualmente, la presidenta de la USNRC está proponiendo la creación de un foro de encuentro de reguladores de países avanzados, que al máximo nivel puedan reunirse para identificar problemas de interés general y dirigir recursos que dinamicen las actuaciones de las estructuras existentes.

de Seguridad de Reactores, insiste en que "la armonización comienza con la identificación de las convergencias y el análisis de las divergencias basados en estudios realizados a través de un exhaustivo intercambio de información de las diferentes prácticas de los Estados miembros".

Puede concluirse que en un mundo con la actividad cada vez más globalizada, la regulación no será una excepción y el establecimiento de objetivos comunes y la



Figura 3. Encuentro de organismos reguladores de los países de la Unión Europea celebrado en Toledo, en noviembre de 1995.

En el ámbito de la Unión Europea se han producido algunas resoluciones del Parlamento que animan a la armonización progresiva. El Grupo de Reguladores de la Comisión recoge en su programa de trabajo para el periodo 1996-2000 la idea de "una progresiva armonización de los criterios y requisitos de seguridad, en orden a garantizar un grado de satisfacción equivalente de la protección de la población y el medio ambiente contra los riesgos derivados de las actividades nucleares".

Del mismo modo, el documento de la Comisión Europea 1995 *Consensus Document sobre la seguridad de los reactores de agua ligera (LWR)*, editado por el Grupo

progresiva armonización de criterios y prácticas condicionará de hecho, cada vez más, la evolución reguladora.

3.3. La necesidad de una acción reguladora predecible

La historia confirma el dinamismo de la regulación y resulta conveniente ir conociendo con mayor detalle los mecanismos de su evolución para asegurar actuaciones eficaces en todo momento, puesto que una característica de un buen sistema regulador es que trate de no producir sobresaltos y que su actuación sea predecible.

Hoy en día es concebible, con el avance de las técnicas de la dinámica de sistemas, pensar en un

futuro en el desarrollo de modelos que permitan analizar y predecir el impacto de las influencias externas sobre el funcionamiento de las plantas y de éstas con la regulación en sus diversos aspectos. Existen, en el ámbito académico (referencia 1), intentos al respecto que han logrado el desarrollo de modelos de simulación. Estos modelos integran a su vez otros modelos que simulan de manera contrastada aspectos parciales. El resultado necesita contraste y perfeccionamiento, pero significa pasos hacia la evaluación cuantitativa, hacia la eliminación de incertidumbres y hacia disponer de herramientas para el apoyo en la toma de decisiones.

4. Perspectivas actuales. Elementos de la estrategia reguladora

Dado el carácter evolutivo de la regulación resulta de interés inmediato caracterizar la situación presente, sus tendencias y sus retos para, consecuentemente, plantear las orientaciones más adecuadas de la estrategia reguladora. El porqué de esta necesidad está relacionado con el hecho de que la pérdida de iniciativa por parte del regulador conduce al condicionamiento generalizado de su actuación y a un desenvolvimiento desequilibrado de la actividad en su conjunto. Esta iniciativa no debe tampoco condicionar indebidamente la política energética, que corresponde a la industria o al Gobierno u otros reguladores. El desarrollo armónico de la actividad exige la iniciativa de todos en la función que a cada uno les corresponde y que la legislación asigna.

4.1. Los retos presentes

Ya se han comentado al comienzo los antecedentes de los retos presentes. Se ha establecido una dinámica que ha ido en aumento en todo el mundo en búsqueda de mayor eficacia y solicitando la reducción de la carga reguladora innecesaria,

marginal o no proporcionada a la reducción de riesgo que supone.

También se ha comentado cómo es posible atender a estas demandas más allá de lo que el buen juicio de expertos o las prácticas deterministas han permitido hasta ahora.

Los hitos más notables en esta dinámica se pueden caracterizar por la publicación en el Registro Federal de Estados Unidos, en agosto de 1995, del documento *Final Policy Statement* (referencia 5) sobre el uso de métodos de evaluación de riesgo en actividades reguladoras, en el cual la NRC fomenta el uso de estos métodos, así como sus posibles aplicaciones para estos fines. Es interesante la referencia que en este documento se hace a la defensa en profundidad, cuya filosofía requiere que la seguridad no se base en un elemento único y atribuye consecuentemente al uso de estos métodos un papel de ayuda en la cuantificación de los niveles de protección y en la identificación de debilidades o de excesos de conservadurismo.

En este punto es conveniente recordar que así como en el año 1993 podía pensarse en la regulación basada en el riesgo como una alternativa más eficaz a la de la regulación determinista o clásica, el mayor conocimiento y la exploración de sus posibilidades hace que hoy en día se considere que son medios complementarios y que la regulación correcta sigue teniendo una base prescriptiva, pero con un componente creciente teniendo en cuenta el riesgo y la experiencia operativa. La expresión *risk-informed performance-based regulation* representa hoy en día la forma de expresar esta idea.

Es también interesante destacar como parte de la política de la NRC la preparación de una evaluación estratégica de las actividades y del propio funcionamiento del organismo regulador norteamericano, actividad que está en curso en estos momentos también impul-

sada por la línea política del Gobierno de Estados Unidos para la mejora de la eficacia de la Administración. Se trata de un ejercicio completo, iniciado en agosto de 1995, de evaluación de las estrategias y de un proceso de redefiniciones básicas que conducirá a la disposición de un Plan Estratégico a mediados de 1997, que establecerá las líneas de actuación de los próximos años.

Dentro de este ejercicio, la aplicación de las técnicas de análisis de riesgos y evaluación de resultados de explotación reciben atención en un apartado específico, en el cual se adopta el compromiso de focalizar los esfuerzos y recursos de la organización sobre las actividades de mayor nivel de riesgo, planteándose para ello las posibles vías alternativas.

Asimismo, es de destacar por parte de la industria la publicación en mayo de 1996 del libro blanco *Reforzando la seguridad y fiabilidad de las centrales, usando regulación basada en riesgo y en resultados de explotación*, cuyo título resulta expresivo tanto de su contenido como de sus intenciones.

En la NEA de la OCDE existen dos comités directamente relacionados con el tema: el Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI), cuyo Principal Working Group 5 (PWG5) se ocupa de los temas de investigación relativos al análisis de riesgos; la actividad fundamental de este grupo se centra en la realización de informes sobre el estado del arte de las metodologías; el segundo comité es el Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA), que incluye entre sus actividades las aplicaciones reguladoras del análisis de riesgos. El CNRA encargó al PWG5 la realización de un informe sobre aproximaciones reguladoras al análisis de riesgos. El informe concluye que el uso del APS ha dado lugar a mejoras significativas en la seguridad de las centrales, que el uso de objetivos de seguridad

cuantitativos es secundario y que existen todavía aspectos de la metodología que requieren mejoras (errores cognitivos y factores organizacionales).

El OIEA desarrolla múltiples actividades en APS, pero en el marco regulador que fijan esencialmente sus NUSS (Nuclear Safety Standards), la introducción de conceptos de riesgo es lenta. Se está trabajando en un documento de prácticas de seguridad (buenas prácticas) que incluirá un capítulo sobre el uso del análisis de riesgos en la regulación.

En España existen ya ejemplos de la utilización de nuevas regulaciones implantadas en base a la información generada por los análisis de riesgos (*risk-informed*), y que van más allá de lo requerido por la metodología determinista inicial. Dos de estos ejemplos son los siguientes:

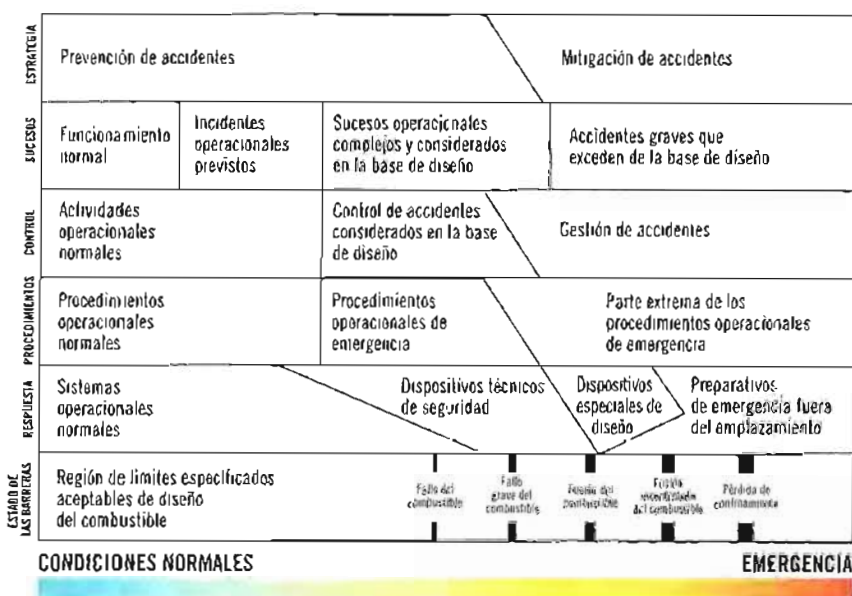
- La implantación de medidas para mitigar las consecuencias de los transitorios previstos sin parada de urgencia (ATWS). Adaptando normativa NRC.

- La implantación de medidas para mitigar las consecuencias de una pérdida completa de energía eléctrica alterna (SBO). Adaptando también normativa Code of Federal Regulation (CFR) y la guía reguladora correspondiente.

El ejemplo más claro de aplicación de la nueva metodología, en la que, además de tener en cuenta el riesgo, se ha orientado a la medida de resultados (*performance-based*), es la nueva normativa de mantenimiento, en fase de implantación en las centrales españolas con un plan piloto en las centrales nucleares de Vandellós II y Cofrentes. El CSN respalda la normativa recogida en el 10CFR50.65.

Se ultima la actualización del *Programa Integrado de Realización y Utilización de los Análisis Probabilistas de Seguridad* (referencia 7) que, continuando con el desarrollo de los análisis de riesgo,

► **Figura 4. Esquema sinóptico de la defensa en profundidad.**



dará prioridad a la utilización y aplicaciones en los procesos de licenciamiento del conocimiento adquirido.

Empiezan a ser numerosas las actuaciones de licenciamiento, que hasta la fecha ha efectuado el CSN utilizando la metodología probabilista. Estas actuaciones han respondido tanto a iniciativas de los titulares, que se han recibido en forma de solicitudes, como a iniciativa del propio organismo, como ya se ha mencionado. Ejemplos del primer grupo son modificaciones de especificaciones técnicas de funcionamiento, exención al cumplimiento de requisitos del Apéndice R al 10CFR50 relativo a protección contra incendios y análisis de sucesos externos de avenida y rotura de presas. El CSN ha utilizado estas metodologías en la evaluación del tiempo máximo de indisponibilidad de la central hidráulica de alimentación de emergencia a la central nuclear José Cabrera.

4.2. Elementos de estrategia futura

La formulación estructurada y explícita de una estrategia constituye un elemento de relevancia para la regulación moderna. Tiene por fin el identificar metas en términos de

objetivos a largo plazo, programas y métodos de trabajo, establecimiento de prioridades y criterios de asignación de recursos y, por lo tanto, buscando un esquema objetivado, coherente y unificador de decisiones que permita el máximo acierto y eficacia en la acción reguladora.

Su formulación debe tratar de responder a las demandas y retos que el entorno regulador plantea, utilizando las nuevas herramientas disponibles. Este entorno no sólo se refiere al externo al organismo regulador, sino que debe considerar las demandas y actuaciones que él mismo genera para el mejor cumplimiento de su misión.

Fundamentos de una regulación correcta

Toda estrategia dirigida a conseguir una regulación eficaz debe gravitar sobre unos fundamentos correctamente asentados. El concepto de seguridad nuclear se asienta en un conjunto de elementos, entre los que se encuentran primeramente el de defensa en profundidad, seguido por su relevancia por los de iniciativa y responsabilidad del titular, la cultura de seguridad y la eficacia reguladora, que se refiere al cumplimiento

to de la misión que el CSN tiene establecida en su Ley de creación 15/1980 de 22 de abril.

El OIEA ha tratado de objetivar estos conceptos, concretamente en los notables documentos del INSAG generados a raíz del accidente de Chernóbil. Aquí solamente se destacará el concepto de defensa en profundidad (ver figura 4, en la página anterior) y su consolidación como base de la filosofía de la seguridad nuclear, que hay que tener siempre presente (referencia 4).

La iniciativa y responsabilidad del titular se debe recordar que incluye todos sus programas y estrategias de autoevaluación y mejora, no sólo las individuales de cada central, sino las de intercambios de experiencias y colectivas. Los programas de mejora continua en todas sus denominaciones y la búsqueda de mayores niveles de calidad objetiva son eficaces herramientas en la mejora constante de la seguridad. No se concibe una sólida seguridad sin una vigorosa cultura de seguridad del explotador, que incluye una actitud de iniciativa constante.

La actuación y vigilancia sobre estos elementos esenciales de la seguridad caracterizan de esta manera los principios de la misión del regulador. La visión que fundamenta su estrategia debe responder a la idea de que las diferentes actividades no representan riesgo indebido y que, a su vez, este riesgo debe ser el mínimo razonable.

Los principios de independencia del regulador, de claridad, fiabilidad y transparencia en sus actuaciones se suman al de eficacia re-

guladora, refiriéndose éste a que la acción reguladora debe estar en proporción con la reducción de riesgo que proporciona.

Formulaciones estratégicas

El Pleno del Consejo aprobó en septiembre de 1995 el documento titulado *Plan de Orientación Estratégica 1995-2000* (referencia 6), que constituye un primer ejercicio de aproximación a la formalización de un Plan Estratégico respondiendo a las demandas existentes en el momento. Entre los objetivos que identifica figuran los de "desarrollo de la pirámide normativa y de guías de seguridad", la "mejora del proceso regulador", la "potenciación del Programa Integrado de Análisis Probabilista de Seguridad", con utilización de los resultados para la mejora de la seguridad de las centrales nucleares, así como la definición e implantación de una política de accidentes severos.

Se está considerando la actualización, profundización y formalización de estas líneas de estrategia en consonancia con la política de mejora de la calidad de actuación del organismo.

Todo ello a su vez forma parte de una tendencia internacional de los organismos reguladores de emprender programas de mejora de su eficacia, de lo cual, aparte del ejemplo español y del norteamericano que se ha apuntado, pueden encontrarse otros ejemplos.

5. Conclusiones

Destaca en la historia de la regulación nuclear su carácter especifi-

co, obligado desde su inicio por la naturaleza nociva de las radiaciones, la necesidad de un regulador competente e independiente, la interacción entre la regulación no sólo con la tecnología y la industria sino con el entorno socioeconómico y de comunicación, así como la línea de internacionalización de principios y prácticas reguladoras.

Los retos presentes en demanda de mayor eficacia reguladora, así como la disponibilidad de nuevas herramientas, como las metodologías de análisis de riesgo y la acumulación de importante experiencia de explotación de las instalaciones, caracterizan la entrada del proceso regulador en una nueva etapa.

Es posible pensar en términos de racionalización paulatina de la acción reguladora compatible con la disminución progresiva, racional y objetivada del riesgo.

La respuesta eficaz del regulador a los retos de esta nueva etapa se debe apoyar en nuevos planteamientos concretos, armonizados con nuestro entorno internacional y reflejados en estrategias formalizadas para garantizar así una acción predecible y armónica.

De esta forma, y con la actitud proactiva de los explotadores, dinamizando su capacidad y experiencia, se podrán lograr avances significativos en la calidad del servicio que se presta, en la seguridad y en su regulación. 

Nota: En el próximo número se publicará una lista de las acciones del CSN relacionadas con el contenido de este artículo.

Referencias

- (1) *System dynamics modeling of socio-political factors in nuclear power plants*. K.F. Hansen, M.G. Turck, C.K. Enbanks. MIT, 1995.
- (2) NUREG/BR-0175. *A short history of nuclear regulation 1946-1990*. J. Samuel Walker, 1993.
- (3) *Breaking the vicious circle*. Stephen

- Breyer. Harvard U. Press, 1992.
- The death of common sense*. Philips K. Howard. Random House, 1994.
- (4) INSAG-03. *Principios básicos de Seguridad para Centrales Nucleares*.
- (5) *Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities*; *Final Policy Statement*. U.S. Federal Re-

gister. 16.08.95. (Vol 60. Nº 158).

- (6) *Plan de Orientación Estratégica del Consejo de Seguridad Nuclear (1995-2000)*. CSN, 1995.
- (7) *Programa integrado de realización y utilización de los Análisis Probabilistas de Seguridad en España*. CSN, 1986.

El levantamiento del terreno en la central nuclear Ascó II

El levantamiento del terreno sobre el que se asienta Ascó II es un proceso geológico de evolución lenta y decreciente en el tiempo, estudiado y seguido mediante modelos geotécnicos del subsuelo y auscultación continua. Su influencia sobre las

estructuras, equipos, componentes y sistemas está contemplada en las bases de diseño de la central, cuyo comportamiento frente a este fenómeno evoluciona satisfactoriamente de acuerdo con los parámetros de control.

1. Introducción

La central nuclear Ascó II ha desarrollado una serie de tareas convergentes para conocer la influencia del levantamiento del terreno sobre su seguridad. Estas áreas de estudio y conocimiento de la central frente al levantamiento del terreno se basan en tres grandes ramas: la auscultación, la prognosis y la evaluación.

La actividad centrada en la magnitud física del fenómeno es la auscultación, diseñada en tres niveles de percepción: la hidrología subterránea, la extensometría del subsuelo y las mediciones directas de los movimientos sobre distintos elementos.

Los aspectos relacionados con la previsión de los movimientos, su trayectoria en cuanto a desplazamientos y velocidades, se elaboraron según dos modelos de previ-

sión empíricos, en el año 1978, que permitieron establecer una base de diseño de la unidad II en su etapa constructiva previa a la primera criticidad, que llegó el 11 de septiembre de 1985. En 1990 se lanzó un programa de investigación científico para el conocimiento geotécnico de las variables que intervienen en el fenómeno de expansión del subsuelo. La modelización del terreno y una amplia campaña de ensayos permitió definir una predicción del movimiento del terreno hasta el año 2020.

Pero más allá de estos dos grandes componentes del conocimiento de la expansión del subsuelo donde se asienta la unidad II de la central nuclear de Ascó –la auscultación y la prognosis– se ha elaborado una serie de límites de control que permiten conocer de forma independiente el estado de las estructuras, equipos, componentes y sistemas a los efectos del movimiento del terreno, designada como evaluación del estado de la planta.

La auscultación, la prognosis y la evaluación forman la estructura para definir el estado de seguridad

de la central frente a los efectos impuestos por el movimiento del terreno y tomar las acciones avanzadas de restitución, unidas a un mantenimiento preventivo y predictivo que aseguran un comportamiento satisfactorio en un plazo amplio de tiempo.

2. Fenómeno físico

La central nuclear Ascó II está emplazada cerca de la margen sudeste de la cuenca del Ebro, en una depresión estructural que comenzó a desarrollarse hacia fines del periodo eoceno, cuando la curvatura del terreno ahorcado por las tres cordilleras contiguas. Ibérica, Catalana y Pirineos, conformó su esqueleto.

El lecho terciario de roca que forma los cimientos de la central se compone de arcilla y aluvión calcáreo con estratos interpuestos de arenisca y piedra caliza arenosa. Esta secuencia litológica ha sido denominada *marga* a los efectos del proyecto.

Esta roca tiene un tamaño de grano predominante de limo (60%), aspecto básico si se denomina bajo dicho concepto, y que es reconoci-

* Físico y diplomado en Ingeniería Nuclear, es jefe de Licenciamiento e Ingeniería Nuclear de la Asociación Nuclear de Ascó.

** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y geólogo, es jefe del Área de Ingeniería Civil de la Asociación Nuclear de Ascó.



► Figura 1. Central nuclear de Ascó.

do como limolita (siltstone). En este estudio seguiremos utilizando las nomenclaturas históricamente utilizadas, siendo la más común marga, y en menor medida, limolita.

La composición mineralógica completa de la marga es calcita y dolomita (50-70%), yesos y anhidrita (30%), cuarzo (10%), feldespato, arcillas no expansivas (10%) (illita y vermiculita) y arcilla expansiva (10-15%) (familia de las esmectitas).

A partir de las muestras extraídas se han podido establecer las características geotécnicas principales. Se trata de un material muy compacto, cementado, de baja porosidad ($n=0,06-0,11$) y baja humedad (2-6%). El grado de saturación es alto, próximo a 0,9. Los ensayos de compresión simple revelan resistencias muy variables, aunque es difícil superar los 30-40 MPa.

Los ensayos de inundación en condiciones edométricas ponen de manifiesto una expansividad fuerte, especialmente en condiciones libres (sin carga vertical). No es fácil establecer una presión de hinchamiento única a partir de los resultados de laboratorio, pero no es aventurado situarla en torno a los 20 kg/cm² como valor superior.

La descarga que ha supuesto la gran excavación realizada, y posi-

blemente el efecto de las voladuras, ha estado en el origen o al menos en la reactivación e interconexión de una red de fisuras en los niveles superiores del terreno de cimentación de la central. Es también probable que la descarga motivara un incremento de la succión *in situ* que poseía la marga en su estado natural. Paralelamente, el cuenco creado por la excavación, y posteriormente ocupado por los edificios y por un relleno de materiales granulares ha permitido que se creara un pequeño acuífero estable que pone el agua en contacto con la superficie de la marga. Además este nivel freático formado es suficiente para alimentar la red de fisuras y de este modo se facilita el acceso hacia el interior de los bloques de marga no saturada y expansiva, capaz de iniciar el proceso de deformación.

3. Auscultación

La evolución física del levantamiento del terreno donde se asienta la unidad II de la central nuclear de Ascó se percibe a través de la auscultación. La estructura de las observaciones de campo se establece en tres especialidades: hidrología, extensometría y movimientos.

Esta agrupación no responde únicamente a la especialización

técnica, sino que incorpora el conocimiento de la evolución del fenómeno con carácter anticipativo.

Las alteraciones de la *hidrología subterránea* —aumento de caudales, variación de los niveles piezométricos, cambios en la hidroquímica— informan de formas distintas de penetrar el agua en el sustrato rocoso expansivo y, por ello, predicen posibles modificaciones en la trayectoria de los desplazamientos.

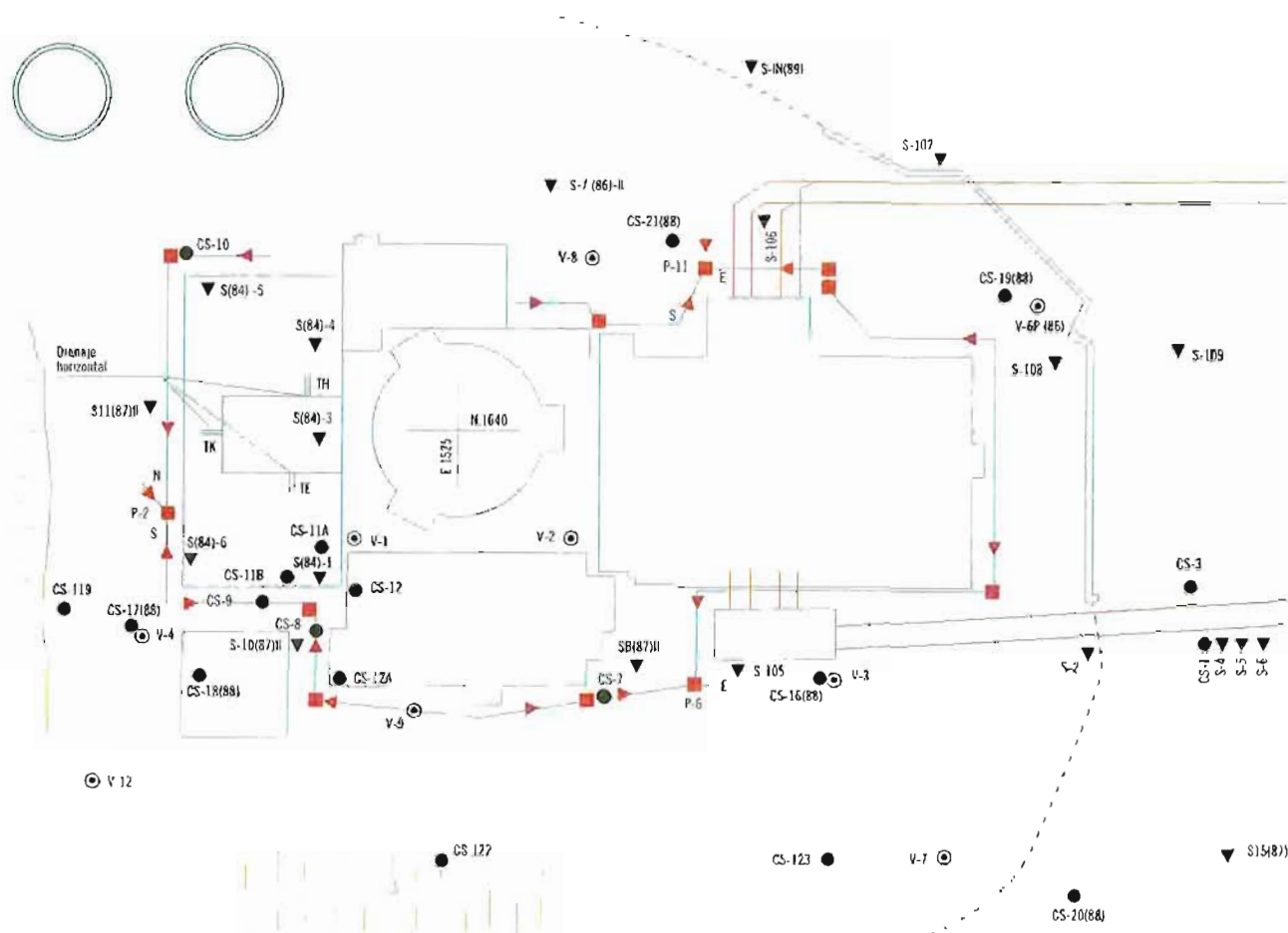
La *extensometría* da una información próxima a las deformaciones internas del subsuelo. En base a los registros a distinto nivel se conoce la extensión y profundidad de la capa de roca que contribuye a la expansión que se percibe en la superficie. Estas medidas de la expansión profunda del terreno valoran el origen de la deformación que se va a producir en superficie.

Bajo el concepto de *movimientos* se agrupan todas las técnicas de medidas de dimensión geométrica de los movimientos en estructuras, equipos y sistemas, que permiten conocer el estado físico de la superficie deformada.

3.1. Hidrología subterránea

La hidrología subterránea de la central nuclear de Ascó viene caracterizada por un relleno antrópico que cubre dos cubetas excavadas en roca donde se apoyan las dos unidades; en su perímetro colindante con el río Ebro se construyó una barrera impermeable para evitar que, en avenidas de agua del río, ésta entrara en el relleno. Bajo esta topología se distinguen dos acuíferos: uno situado en el sustrato rocoso impermeable, de muy bajo caudal y con una hidroquímica muy salina, concentrada en sulfatos; y otro, en el relleno permeable, hidráulicamente más abundante, y cuyas características químicas corresponden a aguas superficiales.

Las aportaciones de agua son: a) subterráneas, provenientes de la ladera montañosa, y b) de carácter superficial por lluvias o escorren-



► Figura 2. Sistema de vigilancia hidrológica de la central nuclear Ascó II.

tías no naturales (riegos, tuberías de drenaje). El balance hidrológico se equilibra con una red de drenaje perimetral en ambas unidades, que limitan el acuífero artificial formado en el relleno permeable, configurando un nivel freático estable.

Los controles hidrológicos que se hacen son: pluviometría, evaporimetría, niveles, caudales e hidroquímica en pozos, red de drenaje y río Ebro.

La red de control hidrológico incluye la red de drenaje, el río Ebro, los piezómetros y los pozos de observación:

- Pozos de observación (57).
- Piezómetros de Casagrande (21).
- Piezómetros eléctricos (17).

3.2. Extensometría

La extensometría muestra las deformaciones en el interior de la roca, conociendo la capa activa que produce los movimientos. Los da-

tos característicos de este seguimiento son el espesor de la capa activa, su situación en el interior del macizo y la expansión de la roca por tramos.

Los extensómetros instalados revelan que la deformación se concentra en la capa superior de la marga, directamente por debajo de la superficie de asiento de las losas de cimentación de los edificios. Es característico que del conjunto se desprenda que existe una capa activa de aproximadamente 10 metros de espesor, siendo prácticamente indetectables las deformaciones a profundidades mayores.

Las bases extensométricas están formadas por extensómetros de varilla y electrónicos (sonda con bobinas) que alcanzan profundidades comprendidas entre la cota -23,50 hasta la +50,00. El conjunto de la red extensométrica está formado por 11 extensómetros de varilla y 8

extensómetros electrónicos (extensores y micrómetro deslizante).

3.3. Movimientos

La metodología dedicada a los movimientos es la más extensa y se relaciona directamente con la manifestación del fenómeno del levantamiento del terreno sobre las estructuras, equipos y sistemas.

Las actividades de mediciones a efectuar en el campo constan de tres partes principales: sistema básico de mediciones; sistema complementario de mediciones e inspecciones y mediciones e inspecciones de equipos y sistemas.

El sistema básico de mediciones (SBM) está formado por los siguientes subsistemas:

- a) Nivelación topográfica.
- b) Extensómetros de profundidad, descritos anteriormente.
- c) Mediciones tridimensionales de juntas entre edificios.

d) Clinómetros o mediciones de inclinación.

e) Medición de flechas horizontales en muros de contención de relleno.

f) Medición de deformación unitaria de armaduras.

El *sistema complementario de mediciones e inspecciones* (SCMI) constituye un medio de contrastación a las interpretaciones de los datos proporcionados por el SBM, y de aportación de datos suplementarios. Los subsistemas que componen el SCMI son:

a) Reconocimiento ultrasónico en pilares y vigas de la estructura principal de hormigón.

b) Control de fisuras en las estructuras de hormigón.

c) Inspección de corrosión mediante barras testigo.

El *sistema de medición e inspección de equipos y sistemas* (MIES) tiene por objeto facilitar información directa en equipos, sistemas y componentes de la central como consecuencia de las deformaciones que sufren las estructuras frente a los movimientos del terreno. Estas actividades complementarias son:

a) Prueba e inspección de los recintos de presión negativa en áreas de penetraciones.

b) Medición e inspecciones adicionales para los equipos de Westinghouse.

c) Inspección de las tuberías.

Los sistemas descritos anteriormente SBM, SCMS y MIES permiten desarrollar la capacidad de evaluación del estado de la planta frente a sus límites críticos, que asegura la operación de la central en condiciones de seguridad.

Los dos aspectos que definen un sistema de mediciones son la extensión de su red y su frecuencia. Estos dos aspectos están íntimamente relacionados entre sí y deben basarse en las características del desarrollo del suceso que han de controlar.

Así como es obvio que un suceso rápido y no predictivo requiere la máxima extensión y frecuencia

de su sistema de control para garantizar la seguridad, también lo es que uno que sea lento, predictivo y lejos de sus límites no necesita tal extensión y frecuencia; la aplicación de máxima extensión y frecuencia en estos casos intrínsecamente representa mala gestión de recursos, y toda malversación explícitamente afecta adversamente a la seguridad de la planta.

Para disponer de un sistema más ágil con un periodo trimestral, que guarde una capacidad de evaluación directa y coordinada con el sistema general, se ha establecido un *sistema de mediciones de control* (SMC) que está definido por un subconjunto de la red de nivelación topográfica y de la de medición de deformaciones unitarias, apoyado por otras medidas de movimientos instrumentales.

4. Prognosis

4.1. Modelos empíricos de previsión de movimientos

A la vista de los levantamientos observados desde la fase de excavación de la planta, y como consecuencia de la necesidad de analizar sus efectos sobre la explotación y sobre el propio diseño de la central, los modelos empíricos de previsión fueron la primera herramienta de análisis que se utilizó para la evaluación cualitativa de dichos levantamientos.

Cronológicamente, las primeras mediciones de levantamientos datan de finales de 1976, fecha en la que se procedió a instalar una serie de clavos topográficos e iniciar su nivelación. Estos clavos constituyeron la primera red de nivelación topográfica que se utilizó en el emplazamiento; posteriormente, fue sufriendo modificaciones para adaptarse a las necesidades de construcción de la planta hasta que, en 1985 y con la fase de construcción ya concluida, la red se modificó por última vez, adoptando su configuración actual.

Utilizando como únicos datos los proporcionados por las nivela-



► Figura 3. Sonda extensométrica.

ciones topográficas, el primer modelo empírico que diseñó el doctor Serrano data de 1978, fecha en la que, en algunos puntos, se disponía ya de más de dos años de historial de levantamientos. El objetivo principal de este modelo, y de los que vinieron a continuación, era dar una previsión y para el año 2020, fecha en la que concluirá la explotación de las instalaciones.

Este primer modelo era de tipo exponencial y se formulaba en términos de velocidades del levantamiento en función del tiempo: $V(t) = V_0 e^{-t/T_0}$, siendo V_0 y T_0 los parámetros a ajustar para cada punto.

Posteriormente, en 1980, el doctor Serrano actualizó el modelo exponencial, y lo convirtió en el modelo logarítmico, que se basa en la hipótesis de que el levantamiento en cada punto puede expresarse en función del tiempo como: $S(t) = S_0 \cdot \ln(1+t/T_0)$, siendo S_0 y T_0 los parámetros a determinar en cada punto. Adicionalmente, mediante la inclusión de un ajuste secundario llamado *refinado*, el modelo tiene en cuenta que los puntos de nivelación a los cuales se ajusta la ley logarítmica no se comportan independientemente unos de otros, sino que, por estar situados en estructuras de hormigón armado de



► Figura 4. Distanciómetro.

gran rigidez, hay cierta relación entre sus levantamientos. El resultado de este *refinado* se traduce en una corrección de los valores para S_0 y T_0 calculados previamente, incluyendo además en la corrección un factor de seguridad entre 1 y 4, dependiendo de la velocidad de levantamiento observada.

Por otra parte, en 1980 Bechtel formuló un modelo empírico alternativo basado en la hipótesis de que en el año 2020 la velocidad de levantamiento se anularía en todos y cada uno de los puntos. Considerando las velocidades anuales que se obtenían para el periodo a lo largo del cual se disponía de datos, y superponiendo la mencionada hipótesis, el modelo obtenía un valor para el levantamiento en el año 2020.

Desde la confección de estos modelos se ha seguido acumulando información topográfica, por lo que en 1988 se inició la tarea de elaborar un nuevo modelo con criterios geotécnicos. Con el nuevo modelo actualizado de previsiones se han conseguido los siguientes objetivos: en primer lugar, obtener previsiones al 2020 más fiables, puesto que el periodo disponible de datos era más largo; en segundo lugar, reducir el factor de conserva-



► Figura 5. Base de conexión del clinómetro instalado en interior de pilar.

durismo que se había introducido inicialmente, además de conocer las variables geotécnicas que influyen en el levantamiento; y, finalmente, calcular las previsiones en todos aquellos puntos de nivelación que se instalaron en 1985 durante la ampliación de la red topográfica.

4.2. Modelo actualizado de previsiones (MAP)

La elaboración del modelo teórico de levantamiento ha supuesto un esfuerzo para entender los mecanismos de hinchamiento presentes en Ascó, tanto desde un punto de vista constitutivo o propio del material, como desde una perspectiva más aplicada y a gran escala, como es el conjunto de la cimentación de la central.

En el plano básico o constitutivo, el modelo es una propuesta para representar y dar al mismo tiempo una explicación física al desarrollo del hinchamiento a lo largo del tiempo, especialmente a largo plazo. El modelo desarrollado ha resultado ser lo suficientemente flexible como para reproducir con precisión las historias de deformación-tiempo medidas en laboratorio, a pesar de que los ensayos realizados muestran una notable va-

riabilidad que, en principio, podría juzgarse irreconciliable con la posibilidad de una formulación teórica única.

Desde un punto de vista básico, es decir, en la interpretación del comportamiento de ensayos sobre muestras, se pueden destacar los aspectos siguientes:

a) En los ensayos de hinchamiento a largo plazo se han identificado dos tipos de comportamiento, denominados primario (rápido o a corto plazo) y secundario (lento o a largo plazo). El primero está probablemente ligado a fenómenos como la relajación de tensiones internas debido a la reducción de las fuertes succiones iniciales y a la hidratación de minerales activos próximos a los poros fácilmente accesibles al agua. El comportamiento a largo plazo responde a la hidratación de minerales activos poco o difícilmente conectados a los poros más accesibles a la circulación de agua, y quizá a las transformaciones experimentadas por las sales a consecuencia de los flujos establecidos. En cualquier caso, el modelo predice dos *escalas propias* de tiempo para cada uno de estos fenómenos y eso permite adaptarse con fiabilidad a los diferentes comportamientos observados.

b) El modelo desarrollado permite afirmar que las *escalas propias* de tiempo aludidas en el punto anterior están básicamente controladas por un único parámetro adimensional que reúne tres variables o parámetros que se juzgan básicos en el fenómeno de hinchamiento:

- La distancia media a recorrer por el agua en el proceso de hidratación (H).
- La permeabilidad del medio (en el sentido clásico de Darcy) (K_w).
- Un parámetro que regula la intensidad del intercambio de humedad desde los poros accesibles al agua hacia las unidades de minerales activos en curso de hidratación (a).

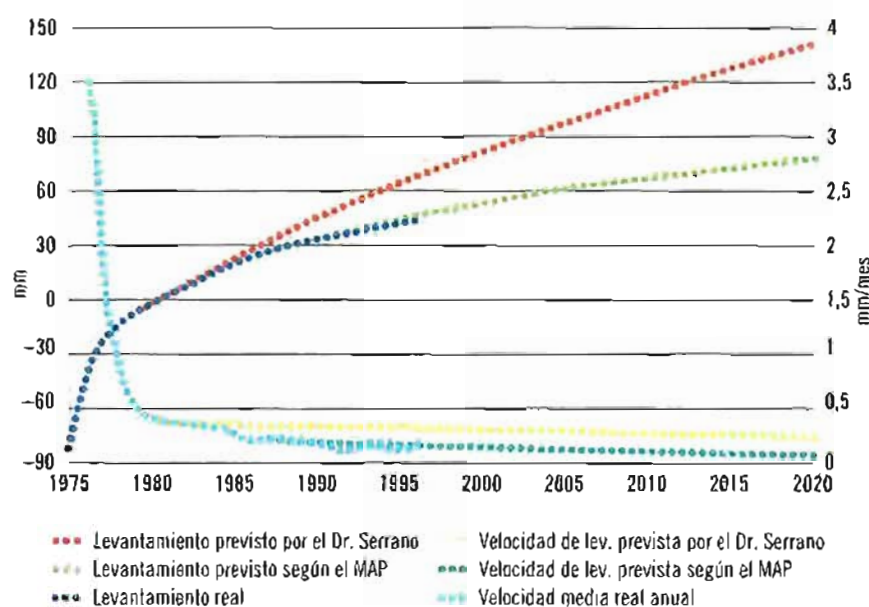
Los cambios en este último parámetro permiten reproducir historias de hinchamiento muy diferentes entre sí.

Desde la perspectiva más general del comportamiento *in situ* de las cimentaciones de los diferentes edificios de la central se pueden destacar los siguientes aspectos:

a) Se ha proporcionado una explicación global a los fenómenos de levantamiento observados y a su distribución. Se constata que la distribución espacial de movimientos está ligada a los diferentes espesores de la capa de *marga* fracturada o capa activa situada bajo los diferentes edificios. Estos espesores están a su vez muy relacionados con la topografía de la excavación efectuada para alojar las diferentes cimentaciones y con los espesores totales de excavación.

b) No parece que la distribución espacial de movimientos esté relacionada con supuestas heterogeneidades del terreno de cimentación. En todo caso, se piensa que la contribución de la heterogeneidad del terreno para explicar movimientos diferenciales es de tipo menor. De acuerdo con esta idea, sustentada por los reconocimientos geológicos y geotécnicos efectuados, el único parámetro *libre* para efectuar el ajuste entre modelo e historia de movimientos de la central en los primeros diez años —una vez fijada a partir de datos de auscultación de campo, los espesores probables de capa activa y supuesto el espaciamiento de fisuras en la misma— ha sido la permeabilidad del agua, K_w , de la *marga*. Los valores de K_w encontrados en este ajuste se corresponden bien con los valores medidos en laboratorio con técnicas de *pulse decay* y con los deducidos al aplicar el mismo modelo a los ensayos de hinchamiento en muestras. Se puede señalar también que la variación de K_w ha sido escasa, lo que proporciona más valor al análisis efectuado.

c) A diferencia de lo que ocurre en las muestras, las deformaciones de tipo primario y secundario se de-



► Figura 6. Evolución de los parámetros selectivos del Manual de Vigilancia/Libro II. Evolución global del levantamiento medio de la planta.

sarrollan *in situ* aproximadamente a la misma velocidad. Eso es consecuencia del valor que adopta en el terreno el parámetro adimensional. Por consiguiente, en las medidas de levantamiento real no es posible distinguir componentes primarias y secundarias.

Si se comparan las predicciones del modelo con los resultados de la aplicación del algoritmo logarítmico empírico, se advierte que los valores de precisión histórica tienden a situarse por encima del valor medio del modelo y, con cierta frecuencia, próximos al máximo alcanzable según los razonamientos efectuados. Es decir, el modelo empírico de extrapolación, actualmente en uso a fin de comprobar los efectos de los levantamientos sobre la central, es conservador. Por otra parte, el modelo geotécnico desarrollado indica que es muy improbable una aceleración de los movimientos. Aun en las condiciones *pésimas* de combinación de propiedades de la *marga* y espesores de capa activa (siempre manteniendo la condición de reproducir la historia inicial de movimientos), el modelo predice la progresiva desaceleración de los levantamientos. Esta es quizá una de las

conclusiones más sobresalientes que proporciona además una cierta *garantía* a la metodología seguida hasta ahora para evaluar el comportamiento futuro de la central.

Habiendo alcanzado el modelo teórico sus objetivos principales de ofrecer una base científica de los movimientos del terreno y el influjo de los parámetros básicos, así como el establecimiento de un rango de las predicciones a través de un haz limitado por los techos superior e inferior de los levantamientos, este estudio teórico se utiliza como *modelo para la actualización de previsiones*. Para el seguimiento puntual en toda la extensión de la central y en las frecuencias temporales que se deseen, se adopta el algoritmo logarítmico ya mencionado, que permite simular los parámetros habituales que se utilizan en las evaluaciones periódicas del estado de la planta.

5. Evaluación

Las evaluaciones que se efectúan para determinar el estado de la central nuclear Ascó II frente a los efectos del levantamiento del terreno se establecen en el Manual de Vigilancia. Los análisis se realizan partiendo de los datos obtenidos de la aus-

cultación.

Estos procesos están recogidos en los siguientes grupos:

a) *Evaluaciones cualitativas* frente a las previsiones de levantamiento: constituye el seguimiento comparativo de los modelos de previsión de levantamientos frente a la realidad registrada.

b) *Evaluaciones cuantitativas* frente a las deformaciones previstas y los límites críticos: este proceso valora el comportamiento de las estructuras, equipos y sistemas frente a las deformaciones o límites establecidos.

Además de la metodología anterior se realiza una evaluación del estado hidrológico y de evolución del fenómeno de hinchamiento en las capas subterráneas a través de las mediciones extensométricas.

5.1. Seguimiento de los modelos de previsión del levantamiento

La evolución de los movimientos –deformaciones y velocidades– medidos hasta la fecha y sus previsiones permiten formular dos tipos diferentes de comportamiento de los movimientos:

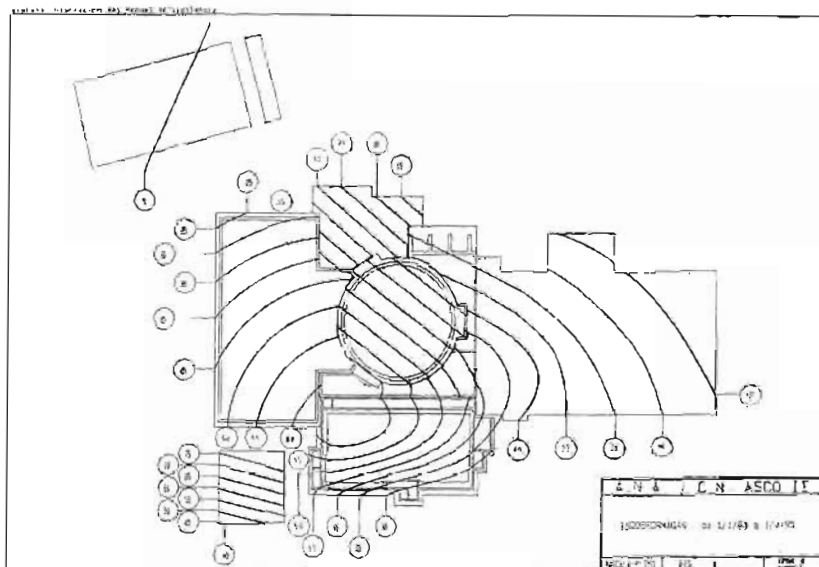
a) Conjunto de puntos cuya previsión de comportamiento global es plano y que, hasta la fecha, han seguido un comportamiento plano –sin deformaciones relativas apreciables– de los edificios de contención, combustible, diesel, torres de refrigeración y desechos sólidos. En general, se corresponden con edificios asentados sobre una cimentación de gran rigidez.

b) Conjuntos de puntos situados en los edificios auxiliar y penetración auxiliar, control, penetraciones control y penetraciones turbina, cuya previsión de comportamiento es no plano (con deformación relativa), aunque en el caso de penetraciones de turbina el comportamiento real es plano.

5.2. Evaluación de las estructuras

Definición de deformadas

La deformación de un edificio contribuye, por una parte, a agotar la capacidad de resistencia estruc-



► Figura 7. Isodeformadas de enero de 1980 a abril de 1995, según el sistema informático del Manual de Vigilancia.

tural y, por otra, incide en el funcionamiento de los equipos, componentes y sistemas que alberga. Es necesario, por lo tanto, determinar la superficie que representa la deformada real de la estructura, diferenciando entre las imprecisiones propias de los procesos de toma de datos y de cálculo, y la deformación propiamente dicha motivada por el hinchamiento del subsuelo rocoso.

El procedimiento para la determinación de la mejor superficie deformada de ajuste a los valores trimestrales en los puntos de medición de los diversos edificios se basa en el cálculo.

Sistema de seguimiento

El sistema de seguimiento de estructuras consta de tres partes principales:

a) Seguimiento de la seguridad estructural a través de magnitudes de control de curvaturas y deformaciones que dan indicación de los estados tensionales estructurales en los edificios.

b) Seguimiento de los perfiles de deformación diferencial para poder evaluar los efectos de posibles distorsiones estructurales.

c) Seguimiento de la fisuración en elementos estructurales de edificios principales.

5.3. Equipos

Cada equipo, sistema o componente relacionado con la seguridad tiene asignados un radio de curvatura mínimo y un basculamiento máximo admisibles, los cuales son válidos para cualquier combinación de signo en curvaturas o de orientaciones en basculamiento, excepto cuando queda limitado a rangos definidos.

Los grupos bajo vigilancia se integran de la forma siguiente:

a) Sistema nuclear de suministro de vapor.

b) Sistema de manejo de combustible.

- Bastidores de combustible nuevo.

- Sistema de transferencia de combustible.

- Tubo de transferencia.

- Prueba de simulacro de manejo de combustible.

c) Sistema de manejo de componentes.

d) Resto de equipos y componentes.

5.4. Juntas de expansión de conductos de aire acondicionado y pasos eléctricos entre edificios

El control de las juntas de expansión de conductos de aire acondicionado y pasos eléctricos se hace a través del seguimiento de los

desplazamientos relativos en los puntos de cruce de las juntas o pasos entre dos edificios adyacentes. Estos valores del desplazamiento se compararán con los límites críticos de las juntas.

5.5. Sistemas de tuberías

La evaluación se realiza en las dos fases siguientes:

a) *Evaluación de las inspecciones efectuadas en la planta.* Tienen la misión de garantizar el funcionamiento de las tuberías y sus soportes, mediante la detección y corrección de posibles interferencias que se puedan producir en el futuro al encontrar obstáculos no previstos en las deformadas de las líneas, así como el comportamiento del apoyo de la tubería en el soporte.

b) *Evaluación del estado de cargas y tensiones.* Se realiza mediante un procedimiento general y otros específicos que atienden las tuberías de vapor principal, las situadas en áreas exteriores y las interfases. El procedimiento general parte de determinar los planos de cada zona de cruce entre edificios,

y compararlo con los planos de referencia de diseño o con los de la evaluación anterior.

6. Conclusiones

El fenómeno del levantamiento del terreno de la central nuclear Ascó II constituye un hecho natural de evolución de un sustrato rocoso expansivo.

El desarrollo en el tiempo es predecible y lento, como lo atestiguan las trayectorias reales de los levantamientos y las velocidades con respecto a las previsiones.

Se dispone de un modelo actualizado de previsiones, basado en un estudio geotécnico, que permite razonar y conocer los parámetros que gobiernan la expansión de la roca, al mismo tiempo que integra la enorme cantidad de observaciones empíricas efectuadas y describe su evolución.

La auscultación se desarrolla en tres especialidades –hidrología, extensometría y mediciones directas–, que incorporan el conocimiento de la evolución del fenómeno con carácter anticipativo y con

capacidad permanente para evaluar y tomar las acciones correctivas y predictivas.

El control de los movimientos se realiza bajo tres sistemas básicos y un subsistema de control reducido que mantiene la capacidad evaluativa completa basado en la representatividad de los puntos de medida y en la reproducción de los movimientos reales y completos.

Unos parámetros de vigilancia relacionados con la seguridad permiten conocer el estado de la central frente a los efectos del levantamiento del terreno y asegurar que evolucionan sin alcanzar los límites de precaución y críticos para todas las estructuras, equipos, componentes y sistemas relacionados con la seguridad.

El conjunto de actividades de control de la seguridad de la central frente al levantamiento del terreno se ha agrupado en un documento único –Manual de Vigilancia–, establecido preceptivamente en el permiso de explotación de la central, que ordena y concentra todas las acciones y precauciones a tomar. 

El concepto de APS Vivo

En este artículo se describen de forma sintetizada las definiciones del concepto de APS Vivo (APSV) y de un programa de actividades y de organización de trabajo para ponerlo en práctica. También se discuten algunas características del programa de APSV que parecen importantes de cara al

éxito en su desarrollo, así como los medios técnicos que habrá que poner en uso para llegar en el futuro a un programa estable y maduro que cumpla su objetivo de ayudar a mejorar y racionalizar más la seguridad operacional de las centrales nucleares.

1. Introducción

La realización de los análisis probabilistas de seguridad (APS) de cada una de las centrales nucleares españolas es el primer objetivo declarado por el *Programa Integrado de Realización y Utilización de los APS en España* (referencia 1) que el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó y publicó en junio de 1986. De acuerdo con ese programa, se están llevando a cabo este tipo de análisis de seguridad para todas las centrales nucleares, con un alcance que será común en todas ellas en un próximo futuro, para dar por cumplido ese primer objetivo del programa.

El segundo gran objetivo, declarado ya de forma destacada por el mismo título del programa en 1986, es que los APS, una vez realizados, sean utilizados, de forma cada vez más masiva, en las diferentes aplicaciones, reguladoras y no reguladoras, que eran de prever

al emitirse el programa y que son ya una realidad, de acuerdo con la experiencia en todos los países con industria nuclear y en los más avanzados de forma especial (referencia 2). Los modelos desarrollados al llevar a cabo los APS resultan ser una herramienta muy poderosa para ser aplicada en diferentes campos. Ello se basa fundamentalmente en que son capaces de discriminar la importancia para el riesgo y, por consiguiente, para la seguridad, de sistemas, de componentes y de diferentes aspectos del diseño y de la operación de las centrales (ver figura 1, en página 21).

Es dentro de este segundo gran objetivo del programa, que será puesto en mayor relieve en una próxima revisión del mismo, a emitirse en 1997 por el CSN, donde entra el tema de este artículo. Los APS, una vez realizados, son un análisis en gran nivel de detalle del diseño y operación de cada central nuclear. No obstante, los modelos y datos en que se manifiesta ese análisis son estáticos, tanto en relación a que sus modelos no tienen en cuenta de forma completamente satisfactoria el efecto tem-

poral previo y durante los accidentes, lo que es un aspecto a mejorar en la metodología de los APS por medio de actividades de investigación y desarrollo, como, y es lo relevante para el fin de este artículo, en relación a que representan a la central tal y como era su diseño y experiencia operativa en el momento de realizarse el análisis. Son como una *fotografía* de la central.

Para que esas *fotografías* no queden, en mayor o menor grado, obsoletas ante una realidad cambiante en cada central nuclear, los APS habrán de ser actualizados de forma frecuente, idealmente permanente, para incorporar modificaciones de diseño y procedimientos, para actualizar sus datos conforme va aumentando la estadística de la experiencia operativa y para mejorar aspectos metodológicos de acuerdo con los desarrollos que se van realizando constantemente en la metodología de los APS y en sus alcances. Evidentemente, este proceso de mantenimiento y actualización de forma permanente de los APS habrá de estar motivado y justificado por las aplicaciones de los mismos, de tal manera que sus usos

* Físico y diplomado en Ingeniería Nuclear. Desde 1979 ha trabajado sobre regulación de la seguridad nuclear en la JEN y el CSN. En la actualidad, es jefe del Área de APS y Factores Humanos del CSN.

internos, dentro de las organizaciones de los explotadores y de la del CSN, y externos, como medios de comunicación entre el regulador y el regulado, compensen más ampliamente los costes de la realización previa de los APS y de sus mantenimientos posteriores, dentro de lo que ha venido a ser conocido en la comunidad internacional como concepto de *Living PSA* (referencias 3-10) o *APS Vivo* (APSV).

En lo que sigue se desarrolla más este concepto y algunos principios fundamentales que podrían guiar su puesta en práctica.

2. Definición y motivaciones

Los modelos y datos desarrollados al llevar a cabo un APS son, de hecho, una herramienta potencialmente muy poderosa para ser aplicada en muchos de los campos de los que se componen la operación y la seguridad de las centrales nucleares. Como se ha indicado, esto es debido, fundamentalmente, a que permiten, de una forma objetiva, discriminar sistemas, componentes y diferentes aspectos en función de su importancia, sea para la seguridad o para la disponibilidad. Esa potencialidad se ha venido plasmando de una forma lógica y natural, aunque esporádica, esto es, no integrada en un proceso global que se podría llamar *programa de APSV*, a través de diferentes ejemplos de aplicaciones de los APS, de los que hay diversos casos en todos los países (referencia 2). Algunas de estas aplicaciones reales que, de esta manera, ya se pueden encontrar y que, por tanto, son motivaciones para un programa de APSV, son, por ejemplo:

- Identificación y comparación de diferentes alternativas de diseño y procedimientos.
- Exenciones o mejoras específicas de condiciones limitativas de la operación.
- Priorización de inspecciones.
- Análisis de incidentes operativos o precursores de accidentes.

- Evaluación o mejora de programas de formación de operadores.

- Priorización de actividades de investigación y desarrollo.

- Optimización de programas de garantía de calidad.

- Optimización de programas y planificaciones de mantenimiento.

- Planificación de la gestión de accidentes.

Insistiendo en lo anterior, lo que todavía escasos países –y dentro de ellos, escasas centrales nucleares concretas– pueden declarar es que estas aplicaciones sean, ya sistemáticas e integradas en el proceso regulador, las que afecten a la regulación o, de forma más general, en un programa de APSV. Para darse cuenta de esto, veamos lo que se puede definir como un programa de APSV (referencia 3).

Un APS Vivo puede ser considerado como una estructura global que comprende, como elemento central, el APS específico de la central nuclear afectada, el cual ha de estar bien estructurado, bien documentado, bien revisado y realizado en un gran nivel de detalle. El APS se mantiene *vivo* actualizándolo de forma lo más frecuente factible, para reflejar en él todos los cambios en la central que afecten a sus modelos y a sus datos. De esta manera se tiene, por medio del APSV, una permanente supervisión del nivel de seguridad de la central y de la importancia relativa de sus componentes. Por su parte, el programa en sí de APS se mantiene *vivo* por medio de la adecuada comunicación de esa supervisión y del uso de esa información para soportar decisiones relacionadas con la seguridad. Ese proceso de comunicación ha de involucrar a buen número de los departamentos y de los niveles gestores dentro de las organizaciones de la central y del organismo regulador de la seguridad nuclear.

El APS también se ha de actualizar para reflejar las mejoras en el conocimiento y en el análisis de los

sistemas de la central, representadas, por ejemplo, por la experiencia operativa, por los avances en la metodología del APS y en sus cálculos de soporte, o por la inclusión de nuevos aspectos en su alcance.

Mientras un APS es llevado a cabo normalmente lejos de la central por un equipo de especialistas en estas técnicas, el APSV requiere una gran participación y la dirección por parte de personal de la compañía explotadora en general y de la central en particular. Este personal se ha de dedicar, al menos parcialmente, al papel de mantener el APSV. El avance en esa línea era el objetivo del CSN al requerir la dirección por personal de la compañía explotadora y la participación de personal de operación de la central ya en la realización del APS básico. Naturalmente, el análisis y actualización de los datos y modelos de los APS, así como la documentación y el control y garantía de calidad de esos procesos, requiere una asignación continuada y significativa de recursos por parte de la compañía explotadora de la central, lo que sólo puede ocurrir si dicha compañía se hace consciente de los valiosos beneficios operacionales y para la seguridad que se pueden derivar del APS, algunos ejemplos de los cuales se han indicado antes. Establecer un programa de APSV es, por tanto, una consecuencia del objetivo de obtención de los referidos beneficios. Parece evidente entonces que ha de quedar clara la definición de ese objetivo y, para ello, es necesaria la participación, motivación y estímulo por parte del organismo regulador. Es lo que el CSN pretendía ya con el *Programa Integrado de APS* de 1986 y lo que va a reforzar en la revisión del mismo en 1997.

Así pues, mientras la realización de un APS resulta en un informe que documenta un análisis muy detallado de la seguridad de una central, un APSV, enfocado a las aplicaciones del APS y a su mantenimiento, implica un programa

continuado. Las actividades de dicho programa habrán de incluir puntos concretos similares a los que siguen:

- Un sistema de recolección de datos y de comunicación que asegure un flujo continuo de información de la central al APSV, para permitir la actualización del APS y reflejar cambios en la central y en las estadísticas contenidas en el APS.

- Un marco de trabajo que guíe el uso del APS, como apoyo a las actividades de la central, de una forma consistente con las guías del organismo regulador sobre aplicaciones del APS, cuando aplique.

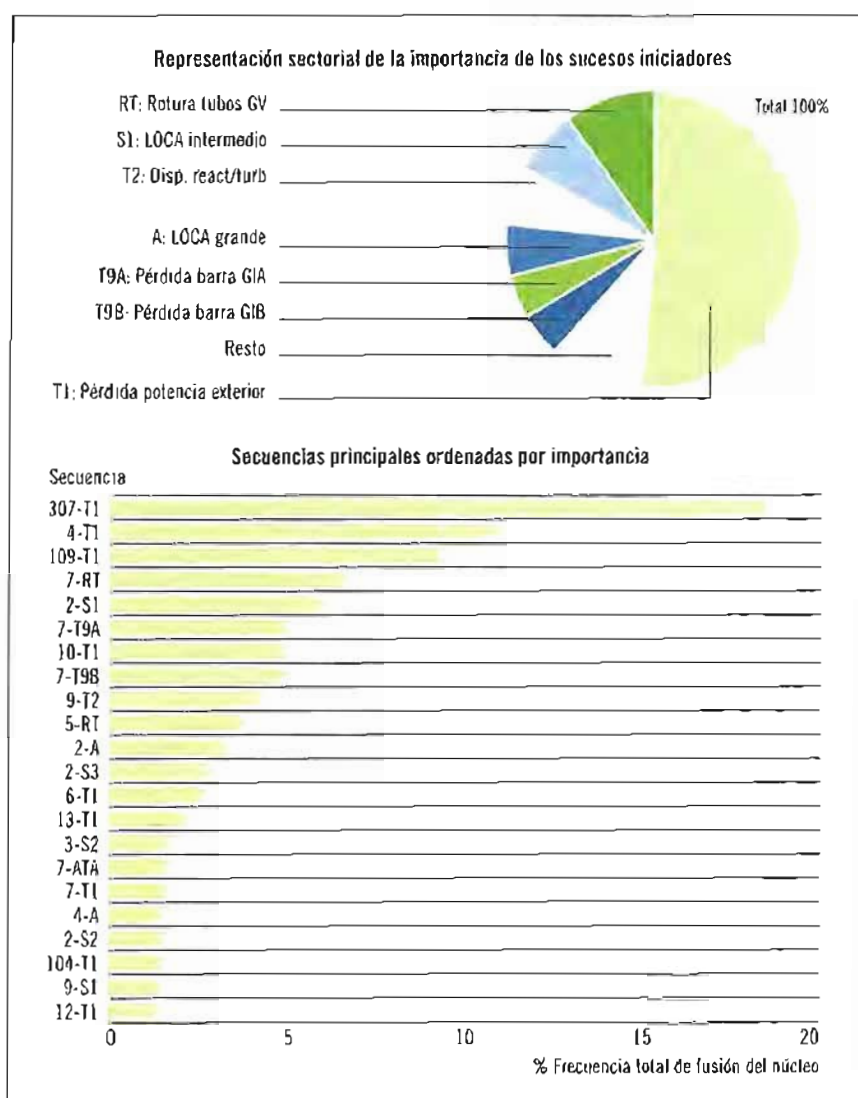
- Procesos internos de comunicación, dentro de las organizaciones de la compañía explotadora y del organismo regulador, que permitan transmitir aquellas consideraciones del APS que ayuden a la mejor comprensión y aceptación por los niveles directivos de las propuestas de aplicaciones.

- Un protocolo de comunicación entre la central y el organismo regulador al respecto del APSV.

- Un marco de trabajo para toma de decisiones que establezca a la vez, por un lado, cómo definir una modificación como crítica, o importante, desde la perspectiva del APS y que, por otro lado, permita actitudes de relajación de requisitos, según unos criterios y dentro de límites definidos como aceptables.

- Un equipo interno permanente de especialistas dedicado al soporte del programa de APSV y un adecuado programa de formación del personal no especialista en los aspectos que se identifiquen como necesarios para la puesta en práctica de las aplicaciones del APSV, con el objetivo de una mejor comprensión de las mismas por las organizaciones al completo.

Con un programa de APSV de este tipo, el énfasis de las actividades relativas al APS se deriva fácilmente desde la realización del APS en sí hacia el soporte del marco para sus aplicaciones. El APSV in-



● Figura 1. Los APS permiten discriminar la importancia para el riesgo de diferentes aspectos del diseño y la operación.

fluirá en la metodología y en los usos del APS, rechazando usos que no pueden ser soportados por las limitaciones actuales de la tecnología, fomentando trabajos de desarrollo y perfeccionamiento de metodologías, animando hacia usos que se puedan apoyar perfectamente en la actual potencia de la tecnología y marcando las características del equipo y programas informáticos que han de usarse.

La anteriormente descrita capacidad de un programa de APSV para ser un interlocutor válido al respecto de muchos de los aspectos de la operación y de la seguridad puede dar lugar también a un significativo uso estratégico del mismo como guía y ayuda a las compañías

eléctricas y a los organismos reguladores en la toma de decisiones en áreas críticas, como la asignación de los recursos. Las aplicaciones con mayor éxito de los APSV, en diversos grados de desarrollo, en el mundo vienen a surgir allí donde los gestores han reconocido el valor estratégico de esta herramienta y han establecido programas de trabajo para usar esa capacidad de ayuda en la toma de decisiones.

Como se indica a menudo, la operación de las centrales nucleares se caracteriza, de forma diferenciadora frente a otras tecnologías de producción eléctrica, por una tensión entre los objetivos de producir energía eléctrica de una forma económica y los de la seguridad nu-

clear. Sin una comprensión profunda de la importancia para la seguridad de las actividades relacionadas con la misma, es difícil asignar con lógica las prioridades entre los grados de consecución de esos objetivos, a veces, aunque no necesariamente, contrapuestos, de las compañías eléctricas y también, dentro de los de la seguridad, entre diferentes aspectos de las actividades de los organismos reguladores. Un maduro programa de APSV, escrutable y reconocido por los reguladores, que, a su vez, disponen de la herramienta básica de dicho programa, suministra una base técnica y lógica para evaluar la importancia relativa de las acciones reguladoras y, por tanto, valorar la eficacia de sus costes.

Así pues, esta potencial aplicación de los APSV al campo de la gestión de unos recursos limitados, por parte de las compañías eléctricas y también por parte de los organismos reguladores, es la que puede tener un mayor valor estratégico y subyace en la decisión de seguir o no en esta línea de mantener vivos los APS.

3. Características importantes de un programa acertado

De acuerdo con las referencias 2 y 3, que están basadas en sendas encuestas realizadas entre los países de la OCDE, son actualmente todavía pocos los países y las centrales nucleares concretas en las que se pueda decir que el concepto de APSV se haya plasmado en programas de APSV ya maduros y experimentados. Las razones subyacentes para esta situación, sobre las que se pueden encontrar ejemplos entre las centrales españolas, pueden ser como las que siguen:

- Aunque, al menos en los APS españoles, ha habido, en mayor o menor grado, participación de personal de operación, los APS han sido y están siendo realizados por equipos de especialistas, con el objetivo de desarrollar el perfil del riesgo que implica cada central. La fuerza de esta tecnología probabi-

lista de análisis de riesgos como herramienta para la toma de decisiones raramente ha aparecido visible para la organización de operación de cada central. En los casos en que ha sido así se ha debido al éxito del esfuerzo aplicado en la transmisión de estas ideas y conocimientos por parte del personal de operación asignado a los APS.

- La credibilidad de esta tecnología ha sido algunas veces erosionada en el pasado por la desconfianza, expresada en algún foro internacional por especialistas en APS y no adecuadamente comprendida, sobre la precisión *absoluta* de las estimaciones numéricas resultantes, que es debida a las limitaciones o aspectos débiles, de la metodología de APS. Estos aspectos, mejorables mediante actividades de I+D, tienen en muchos casos un impacto de menor importancia, no invalidan conclusiones basadas en los resultados *relativos* de las cuantificaciones de los APS y pueden ser obviados en muchas de las aplicaciones de los APSV, pues éstas se basan en análisis de sensibilidad.

- Un programa de APSV necesita tiempo para ser desarrollado, madurar y llegar a ser eficaz de una forma reconocida por todos. Algunos de los APSV que actualmente se pueden considerar como paralizados puede que hayan llegado a esa situación porque no tuvieron tiempo suficiente de prueba o porque no tuvieron éxito en la demostración de su utilidad.

- Como parte de un programa vivo, el APS se usa en las decisiones diarias de apoyo a la central o a las decisiones reguladoras. Esto crea una situación especial en la que los analistas han de interaccionar con los operadores, o con especialistas en otros temas, de una forma cotidiana. Puede que esto no sea aceptado fácilmente por todos los operadores o por todas las organizaciones.

- Hay un fuerte acoplamiento entre los eventuales usos del APSV

y las herramientas del mismo. Esto hace que para el diseño y desarrollo de estas últimas se tengan dificultades a la hora de producir resultados que sean usables y comprensibles por todos los implicados en todas las posibles aplicaciones.

Naturalmente, la situación contraria de los puntos anteriores, o los desarrollos adicionales para superarlos, habrían de formar parte de la definición inicial de un programa de APSV. Se entiende que esa definición sea una empresa difícil y compleja y, además de lo anterior, puede haber otras características que, incluidas en el proceso de definición del programa, pueden tener importancia de cara al éxito en dicha tarea. Algunas de esas características pueden ser:

- El estímulo por parte del organismo regulador. Tal era la intención del CSN al emitir el programa integrado español de APS en 1986. Se intentará reforzar ese aspecto en la próxima revisión que emita el CSN. Ejemplos de estímulo positivo se encuentran, sobre todo, en los países nórdicos y en Estados Unidos. En este último país se tiene el ejemplo de la Declaración de Intenciones de la NRC sobre el uso del APS en la regulación (referencia 11) y del Plan de Implantación del APS en la metodología de trabajo de la propia NRC (referencias 12 y 13), lo que está siendo un ejemplo estimulante para avances en el mismo sentido en toda la industria nuclear de aquel país.

- La implicación de los altos niveles de gestión, mediante su involucración y supervisión al establecer los objetivos del programa de APSV y al asegurar que las organizaciones de las compañías eléctricas y de los reguladores responderán al mismo y lo apoyarán.

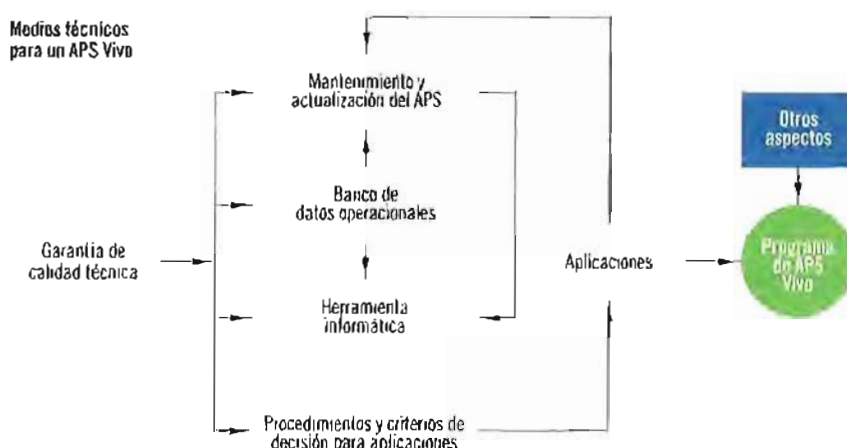
- El énfasis en los aspectos ingenieriles más que en los resultados cuantitativos considerados de forma aislada. Es en las razones técnicas en las que se apoyan las recomendaciones y propuestas de aplicaciones donde se debe poner

el énfasis al presentar los resultados de los APS. Los programas de APSV son por sí mismos unas herramientas sin igual para la ingeniería de sistemas y aquellas organizaciones que se han enfocado hacia esa potencia de los APS, colocando, por ejemplo, el equipo de especialistas en APS en un lugar de la organización que favorezca su interacción con el resto de la misma, son las que más rápidamente han sido capaces de obtener el respeto y la aceptación por parte de todos los niveles de trabajo. Esta aceptación parece una condición indispensable para llegar a un programa de APSV que se prolongue de forma continuada.

– También radica el éxito de un programa de APSV en la credibilidad del equipo de trabajo que lo administra y lo soporta. Se necesita, por consiguiente, que el personal dedicado al mismo esté entre el más experto en la ingeniería y la operación de la central en particular, ya que ese personal ha de ser capaz de transmitir las aportaciones del APS al personal dedicado a la ingeniería y la operación en sí de la central y, por tanto, buen conocedor de los detalles ingenieriles de la misma.

– El uso de los modelos de los APS, si se liga a la dinámica de trabajo relacionada con la ingeniería y la operación de cada central, puede llegar a ser aceptado más rápidamente como una herramienta básica para la toma de decisiones y esto, a su vez, implicar que la propia herramienta se vaya mejorando y perfeccionando con el tiempo, ya que se cuestionan y comprueban las hipótesis contenidas en los APS, se prueban en los simuladores las acciones del operador identificadas por los APS, se refinan las bases de datos o se inician trabajos adicionales de desarrollo de mejoras de los métodos, o de cálculos usados para el APS. Este marco de trabajo para las aplicaciones del APSV hacia trabajos externos al propio APS, facilita la institucio-

► **Figura 2.** Un programa de APS Vivo necesita unos medios técnicos una vez decidida su implantación.



nalización en toda la organización de la compañía eléctrica o del organismo regulador y favorece, a su vez, que se involucren los altos niveles de dichas organizaciones. Evidentemente, la mejor forma de llegar a esa transformación parece ser por el camino de la formación del personal no especializado en APS y la adaptación paulatina de los métodos de trabajo.

La descripción anterior de algunas de las características que pudieran ser necesarias para el éxito de un programa de APSV o, al menos, para favorecerlo, no pretende ser exhaustiva, sino que responde a la experiencia del autor y de los expertos internacionales con los que ha colaborado en tareas relativas al desarrollo de este concepto del APSV y, en general, a las aplicaciones de una herramienta de este tipo en campos no limitados al propio estudio y análisis de los riesgos de las centrales nucleares.

4. Medios técnicos para el desarrollo del programa

Hasta aquí se ha descrito básicamente lo que un programa de APSV habría de contener en relación a la organización del mismo y posibles impactos que pudiera tener en los métodos de trabajo de una compañía eléctrica explotadora de centrales nucleares o de un

organismo regulador. El otro aspecto fundamental de un programa de APSV se refiere a los medios técnicos y procedimientos de trabajo con los que las actividades del programa, en esencia para mantener y aplicar el APS, se han de utilizar. Estos medios se pueden agrupar en cinco clases: 1) el mantenimiento y actualización; 2) la recolección, análisis e incorporación de datos; 3) los medios informáticos; 4) los procedimientos y criterios de decisión para llevar a cabo aplicaciones; y 5) la garantía de calidad de todos los procesos (figura 2).

4.1. Mantenimiento y actualización

El objetivo de esta parte de un programa de APSV es asegurar que el APS básico, a partir del cual se harán los análisis de sensibilidad o importancia en que se fundamentan las aplicaciones, siempre refleje la configuración correcta de la central y que lo haga de una manera eficiente en el tiempo y de acuerdo con los parámetros que el APS tiene incluidos en sus modelos y datos. Esta recolección de información y proceso de interpretación de la misma representa una tarea muy significativa y hará necesario que todos los procedimientos que gobiernen las actividades de la central que puedan hacer cambiar su

configuración en cuanto a diseño, procedimientos o prácticas operativas, de una forma que pueda tener impacto en el APS, incluyan un requisito sobre suministro de información al APSV.

De acuerdo con los aspectos de una central que están implicados en los modelos de los APS, las tareas de mantenimiento y actualización del mismo, dentro de un programa de APSV, habrán de incluir:

- Revisión selectiva de los cambios de diseño en la central. En esta tarea se habrán de identificar los cambios de diseño que tengan impacto en los árboles de fallos, en los de sucesos o en las hipótesis contenidas en el APS.

- Revisión selectiva de los cambios en los procedimientos normales de operación y en los de mantenimiento y calibración. Para identificar, por ejemplo, modificaciones en el alineamiento de válvulas o interruptores que afecten a los modelos o hipótesis.

- Revisión selectiva de los cambios en los procedimientos de vigilancia. Puesto que pueden afectar, entre otras cosas, a los tiempos entre pruebas de componentes.

- Revisión selectiva de modificaciones en los procedimientos de operación en emergencia. Puesto que pueden afectar a los modelos del análisis de fiabilidad humana.

- Incorporación de las actualizaciones bayesianas de las estadísticas de sucesos iniciadores y de fiabilidad de componentes, si no sigue un proceso automático como el descrito en la sección siguiente, en cuyo caso la labor sería de coordinación con dicho proceso.

- Actualización de los modelos de los APS y recuantificación. Para reflejar la nueva información y el efecto de todos los cambios efectuados.

- Actualización de la documentación del APS, emitiendo páginas de cambio a todos los poseedores de copias controladas de la misma.

- Asimismo, se habrá de estar pendiente de mejoras en la meto-

dología de APS, o de sus cálculos de soporte, para decidir en algún momento sobre realizar cambios en los modelos o hipótesis por medio de las nuevas metodologías o cálculos.

La frecuencia de actualización es un aspecto a decidir a la hora de preparar el programa de APSV. En los aspectos más formales, es decir, documentalmente, puede ser suficiente con una actualización cada recarga, si bien el trabajo de revisión y supervisión de las modificaciones, para ser consciente de la tarea a realizar a la hora de emitir la actualización, debe ser hecho en continuo. En la práctica, la frecuencia de las actualizaciones de la cuantificación lo más probable es que la fije la propia realización de las aplicaciones.

En cuanto al esfuerzo necesario para esta tarea, se menciona (referencia 3) que se requieren al menos dos personas/año por APSV.

4.2. Banco de datos

Para mantener un seguimiento y actualización, incluso en continuo, de las estadísticas que conforman la mayor parte de los datos usados en los APS, la mejor vía es la de conectar los modelos informáticos de los APS con sistemas informáticos desarrollados para esa adquisición de datos de forma sistemática y que tengan rutinas adecuadas para el tratamiento estadístico de los datos. Esas rutinas serían el elemento de enlace con las herramientas informáticas del APSV en sí. Evidentemente, el sistema de recolección de datos, el análisis de los mismos para su incorporación al banco, la codificación de la información, el análisis estadístico y el alcance habrán de ser coherentes con el análisis de datos contenido en el APS.

En España se cuenta con los bancos de datos de sucesos operativos y de componentes del proyecto *Datos de las Centrales Nucleares Españolas* (DACNE) que, tras una fase de mejora y adaptación, podrían ser usados en el futuro en los

APSV españoles. Ese era el objetivo al respecto del *Programa Integrado de Realización y Utilización de los APS en España*, ya en su versión, aún vigente, de 1986.

4.3. Herramienta Informática

En general, las características necesarias para una herramienta informática que sustente adecuadamente un programa de APSV vienen determinadas por el tipo de aplicaciones que se intente hacer con los modelos del APS. Las aplicaciones esperadas se pueden considerar típicamente incluidas en alguna de estas tres clases (referencias 7-10):

- *Tipo 1:* en la planificación de la seguridad a largo plazo. Para este tipo de aplicaciones se puede decir que el APSV va en la línea de la evaluación del riesgo, *risk assessment*. Aplicaciones típicas serán las de identificación de los contribuyentes al riesgo, las de su priorización y, consecuentemente, de las acciones sobre los mismos, como programas de mantenimiento o inspección, o las de comparación entre varias alternativas de diseño o procedimientos.

- *Tipo 2:* en el análisis del riesgo según la experiencia operacional. Para este tipo de aplicación, el APSV va en la línea del seguimiento del riesgo según va evolucionando con la experiencia, *risk follow-up*. Aplicaciones típicas serán las de análisis de precursores de accidente, las de realimentación a la operación del riesgo habido durante sucesos concretos o las de verificación de los modelos e hipótesis del APS básico.

- *Tipo 3:* en la planificación de actividades operacionales. Para este tipo de aplicación, el APSV va en la línea de la vigilancia y control continuo del riesgo, *risk monitoring*. Aplicaciones típicas serán las de planificación concreta de pruebas, las de planificación concreta de mantenimientos o las de toma de decisiones operacionales cotidianas en la central, como el con-

tol de la configuración de los sistemas.

En otra terminología, a veces se menciona el tipo 3 como aplicaciones *on line* de los APSV y los tipos 1 y 2 como aplicaciones *off line*.

Para estos tres tipos de aplicaciones se podría decir que necesitarán cada uno de unas características de la herramienta informática en parte distintas. Estas características se pueden lograr mediante el uso de programas informáticos distintos, enfocados a cada aplicación, o lo que parece más viable, mediante la adecuación de los modelos del APS a cada tipo de aplicación.

Así, para el tipo 1, los modelos del APS podrán ser los generados durante la realización del APS, mientras que, para los otros dos, necesitarán una adecuación. En el tipo 3, la herramienta debería estar disponible en la propia central, en algunas opiniones incluso en la sala de control, preferiblemente en ordenadores personales y para ser usado por conocedores, pero no especialistas, en APS. Por ello, sería muy conveniente la simplificación o *modularización* de los modelos para ganar tiempo de ejecución. También habría que mejorar la consideración temporal en los modelos, ya que no serán los más adecuados los típicos tratamientos de las indisponibilidades en promedio. En el tipo 2, aparte de ser también conveniente la simplificación, habría que tener gran versatilidad para transformar en varios aspectos los modelos de acuerdo con las indisponibilidades y fallos habidos en la realidad.

En todos los tipos de aplicaciones, pero particularmente en el 3, los tiempos de cálculo habrán de ser lo más cortos posible, con los programas y equipo informático optimizados con ese fin. También de forma particularmente importante en el tipo 3, la facilidad de interacción con el usuario ha de ser optimizada, para que entradas y salidas de los análisis sean fácilmente comprensibles en términos lo más familiares posibles al personal

Event Name	Num. of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importance	Risk Reduction Ratio	Risk Increase Ratio
TRX	1	1.000E-007	1.300E-004	1.000E+000	1.300E+000
DC-A	6	2.000E-002	7.000E-001	0.174E+000	3.766E+001
DC-B	6	2.000E-002	7.000E-001	0.174E+000	3.766E+001
E-MV-1	6	1.000E-003	2.750E-002	1.020E+000	2.840E+001
C-MV-1	6	1.000E-003	2.750E-002	1.020E+000	2.840E+001
C-CV-B	1	1.000E-004	2.511E-003	1.003E+000	2.710E+001
E-CV-A	1	1.000E-004	2.511E-003	1.003E+000	2.710E+001
E-PUMP-A	2	1.000E-003	7.030E-002	1.005E+000	2.704E+001
C-PUMP-B	3	3.000E-003	7.030E-002	1.005E+000	2.704E+001
E-MV-A	3	5.000E-003	1.300E-001	1.150E+000	2.699E+001

1997/02/18 16:05:04 page 1
Press <Enter> to continue or <E> to End

Figura 3. La herramienta informática para un APS Vivo deberá evolucionar hacia la mayor rapidez de cálculo y eficacia en la presentación de resultados.

de operación (figura 3). Asimismo, en todos los tipos será conveniente que los sistemas favorezcan la entrada y salida de datos por medio de editores gráficos.

Afortunadamente, tanto los algoritmos usados en los códigos básicos para APS, como las capacidades de los ordenadores personales en particular, y como los programas comerciales de gestión que son necesarios para intercambio de información entre los subcomponentes del sistema informático y para el tratamiento optimizado de sus entradas y salidas al usuario, son algo que está evolucionando y, previsiblemente, seguirá evolucionando de forma rápida y espectacular, favoreciendo con ello la superación de este aspecto antes muy dificultoso para la puesta en práctica de un programa de APSV como el descrito.

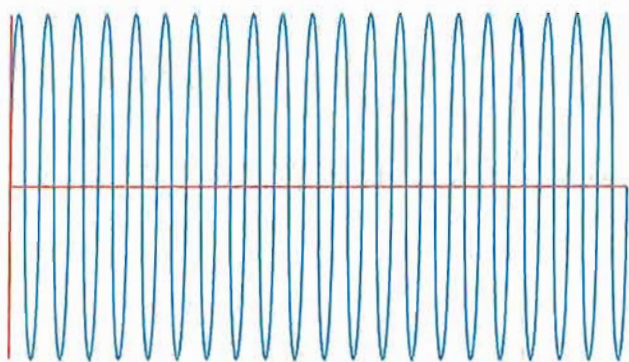
4.4. Procedimientos y criterios de decisión para aplicaciones

El programa de APSV, como ya se ha indicado, tiene como objetivo fundamental aplicar el APS específico de la central a los diversos campos en que el APS ha demostrado tener gran potencialidad de convertirse en una herramienta objetiva y lógica de apoyo a la toma de decisiones. Dado que uno de los campos fundamentales de aplicación es el de la propia regulación de la seguridad nuclear, será necesario que los métodos para ese uso de los APS en diversas aplicacio-

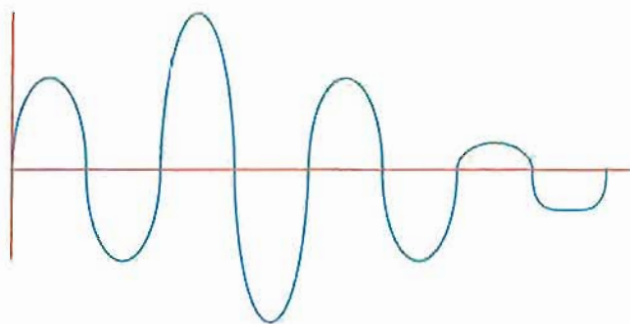
nes sean desarrollados, o consensuados, de acuerdo con los organismos responsables de dicha regulación, de tal manera que las aplicaciones tengan unas guías de realización bien conocidas y aceptadas por todas las partes afectadas. La *normalización* en los campos de aplicación de los APS habrá de ser, pues, en las metodologías.

Algunos ejemplos de ese proceso de desarrollo de guías de aplicaciones se tienen ya en varios países. Merece la pena mencionar aquí la referencia 14, con la que la industria nuclear estadounidense ha dado el paso de desarrollar una guía de aplicaciones de los APS, que una vez discutida, revisada y ratificada por la NRC, sería el marco de trabajo para el desarrollo de las aplicaciones específicas en cada central. En otros países, como los nórdicos, son los organismos reguladores los que han puesto en marcha esos proyectos de desarrollo. En todo caso, es un paso o actividad que parece necesaria para tener ese marco de referencia sobre los métodos para aplicar los APS, al menos, a los campos afectados por la regulación de la seguridad nuclear.

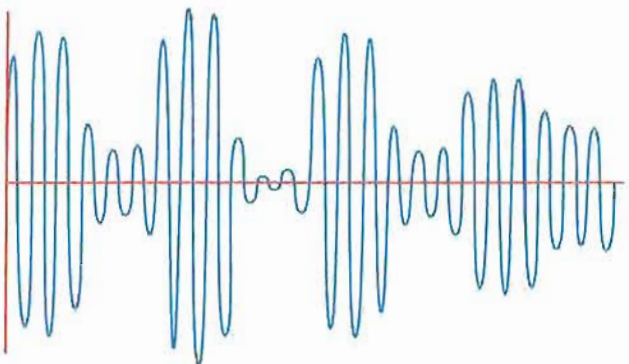
Quizá el aspecto metodológico en el que será más importante ese trabajo de desarrollo y de consenso entre regulador y regulado sea el del establecimiento de unos criterios o guías para la aceptación de posibles aplicaciones en base a las estimaciones cuantitativas, fundamental-



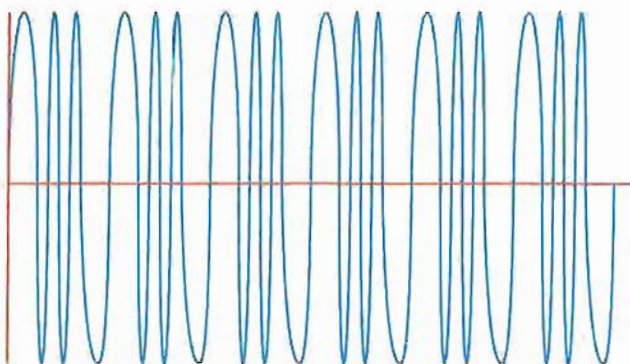
► Figura 4. Normativa reguladora determinista representada como una onda portadora.



► Figura 5. Análisis de riesgos de acuerdo al concepto de APSV Vivo.



► Figura 6a. Regulación informada por el riesgo. Amplitud modulada.



► Figura 6b. Regulación informada por el riesgo. Frecuencia modulada.

mente, de los resultados de los análisis de sensibilidad en que se basarán gran parte de las aplicaciones. Este es un punto especialmente crítico, dado que un buen número de las aplicaciones de los APS se basarán en que el impacto para la seguridad de algunos aspectos será despreciable. En otros términos, habrá aplicaciones para las que se aceptarán incrementos del riesgo siempre que estén por debajo de un umbral, que habrá que definir, para el que se considerará no significativa esa variación del riesgo. Eso implica que habrá que aceptar el concepto de aumento de riesgo dentro de la regulación.

Y aún serán mayor objeto de discusión y de consenso aquellas aplicaciones que, suponiendo un aumento de riesgo por encima de ese primer umbral, todavía esté por debajo de un segundo umbral, por encima del que ya se consideraría inaceptable. Para esas aplicaciones con incremento de riesgo intermedio en-

tre los dos umbrales, la decisión de aceptarlas o no habrá de ir acompañada de otras argumentaciones, como el análisis de coste-beneficio o la adopción de medidas compensatorias en otros aspectos de la central que hagan la variación total del riesgo aceptable, esto es, inferior al primer umbral. Es decir, habrá que incluir los conceptos de análisis de coste-beneficio y de balance del riesgo. Evidentemente, esos análisis adicionales para aplicaciones en esa zona intermedia habrán de tener, a su vez, una metodología y rigor de un nivel similar al del propio APS, y no reducirse a ser meras estimaciones cualitativas.

En síntesis, estos aspectos de definición y consenso de criterios o umbrales cuantitativos, así como de metodologías para las aplicaciones y para resolver aquéllas que supongan un aumento de riesgo situado en la zona entre dos umbrales, de aceptabilidad y de inaceptabilidad, que habrá que de-

finir, entre otras cosas, porque las incertidumbres básicas de las estimaciones cuantitativas harán inviable la definición de uno sólo, han de ser objeto de un trabajo del mayor rigor posible pues, como se ha indicado, en esos conceptos está basada la *reforma* del sistema regulador al que el uso de la herramienta del APSV puede que conduzca.

4.5. Garantía de calidad

La realización de los APS, al menos en España, se ha llevado a cabo incluyendo entre las tareas de sus proyectos una que se consideraba fundamental: la garantía de calidad técnica.

Para realizar esa tarea se hizo alusión en todos los requerimientos del CSN al documento citado en la referencia 15 de este artículo, que, en su sección 2.3 y en su apéndice B, trata de este tema, introduciendo ese concepto e indicando una guía básica para la organización y realización de la tarea. La experiencia

de la mayor parte de los APS españoles ha venido a demostrar lo muy beneficiosos y necesarios que son ese trabajo y ese proceso de control y de garantía de la calidad técnica, realizados dentro de los propios proyectos.

La puesta en práctica de las metodologías de aplicación de los APS, así como las actividades para mantener y actualizar los mismos, habrán de ser sometidas a un proceso similar de garantía de calidad técnica, y en este caso con una necesidad incluso mayor, ya que de la correcta realización técnica de esas actividades se derivarán aceptaciones de aplicaciones relacionadas con aspectos reguladores y de licenciamiento. Por tanto, parece claro que, en el campo de los APSV, el énfasis en la calidad técnica habrá incluso de ser reforzado.

5. Conclusión

Un programa de APSV comprende una serie de actividades que son numerosas y complejas, tanto más cuanto supongan una modificación de mentalidades y de algunos sistemas de trabajo actuales. Esa complejidad puede que alcance su máximo en lo que respecta a

la interacción de un programa de este tipo con los aspectos reguladores. Tanto es así que se puede decir que, aunque no son exactamente lo mismo, el concepto de APSV y el de *regulación informada por el riesgo* (*risk-informed regulation*), van muy en paralelo, puesto que la herramienta fundamental para una futura puesta en práctica de este último concepto habría de ser muy similar a lo que aquí se ha descrito.

Para finalizar e introducir de una forma gráfica el significado del concepto de regulación informada por el riesgo y comprender lo básico que puede ser un APSV para el desarrollo de ese concepto, se puede echar mano de un símil descriptivo del mismo. La normativa actual, derivada mayoritariamente de una aproximación determinista a la regulación de la seguridad nuclear, se podría representar conceptualmente como una onda *portadora* como la de la figura 4. Un análisis de riesgos, realizado por medio de un APS riguroso y detallado, además de mantenido y actualizado con un adecuado programa de APSV, que incluya, naturalmente, la experiencia operativa, se podría representar

con la onda de la figura 5. Esta onda, adecuadamente tratada, junto con la primera, dentro de las aplicaciones del programa de APSV, *modularía* la normativa reguladora, hasta llegar a las ondas *moduladas* de las figuras 6a y 6b, en las que el concepto de regulación informada (con este símil, también se podría llamar *modulada*) por el riesgo se manifiesta ya en nuevas ondas de la normativa reguladora, ahora moduladas en amplitud y en frecuencia, respectivamente.

El anterior símil es ilustrativo de lo que puede ser en el futuro el concepto de regulación informada por el riesgo (*performance-based risk-informed regulation*, en la terminología de la actual presidenta de la USNRC), que, asociado al de APS Vivo, está siendo objeto de gran debate en todo el mundo. Usando nuevamente el símil y, seguramente, abusando de él, las ondas moduladas resultantes de la regulación informada por el riesgo serían el soporte de la *comunicación*, en términos objetivos, técnicos y lógicos, entre el regulador y el regulado, tal y como ese tipo de ondas físicas son soporte de comunicaciones físicas a distancia. ☞

Referencias

- (1) *Programa Integrado de Realización y Utilización de los Análisis Probabilistas de Seguridad en España*. CSN. Agosto, 1986.
- (2) *Regulatory Approaches to PSA. Report on the Survey of National Practices*. Draft. CNRA/NEA/OECD. Agosto, 1995.
- (3) *Living Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plant Safety Management*. Ed. M. Bonaca. NEA/OECD. Febrero, 1991.
- (4) *Probabilistic Safety Assessment in Nuclear Power Plant Management*. Ed. N. Holloway. NEA/OECD. Junio, 1989.
- (5) *PSA Application to Technical Specifications*. Ed. J.I. Calvo. NEA/CSNI/R(92)16. Octubre, 1992.
- (6) *Risk-Based Management of Safety Systems Availability*. Ed. N. Holloway. NEA/CSNI/R(94)21. Septiembre, 1994.
- (7) *Living PSA Development and Application in Member Countries. Summary of TÜV Workshops Held from 1988 to 1994*. Draft. TÜV Nord for CSNI PWG5. CSNI/NEA/OECD. Junio, 1995.
- (8) *2nd TÜV Workshop on Living PSA Application*. Hamburg 7-8 May, 1990. Ed. H.P. Balfanz. TÜV Nord e.V.
- (9) *3rd TÜV Workshop on Living PSA Application*. Hamburg 11-12 May, 1992. Ed. H.P. Balfanz. TÜV Nord e.V.
- (10) *4th TÜV Workshop on Living PSA Application*. Hamburg 2-3 May, 1994. Ed. H.P. Balfanz. TÜV Nord e.V.
- (11) *Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement*. U.S. Federal Register. 16 de agosto de 1995.
- (12) *Proposed Agency-Wide Implementation Plan for Probabilistic Risk Assessment (PRA)*. U.S. Nuclear Regulatory Commission, SECY-94-219. Agosto, 1994.
- (13) *Status Update of the Agency-Wide Implementation Plan for Probabilistic Risk Assessment*. U.S. Nuclear Regulatory Commission, SECY-95-079. Mayo, 1995.
- (14) *Probabilistic Safety Assessment Applications Guide*. EPRI TR-105396. Agosto, 1995.
- (15) *Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide*. NUREG/CR-2815, Rev. 1. Agosto, 1985.

La percepción del riesgo radiológico en España

¿Cómo percibe la sociedad los riesgos vinculados con la radiación? ¿Existe alguna lógica al percibir estos riesgos? El artículo describe los resultados de una encuesta transcultural acerca de la percepción del

riesgo radiológico sobre una muestra representativa de la población española. El estudio se ha realizado en el marco de un proyecto de investigación financiado por la Unión Europea y el CSN.

1. Introducción

La comparación entre el riesgo asociado al accidente de Chernóbil y el de cruzar la calle ilustra con claridad la complejidad de factores que subyace a la evaluación del riesgo, objeto fundamental de *la investigación en percepción del riesgo*. A pesar de que estos peligros pueden compararse estrictamente en términos de probabilidad y consecuencias, la intuición apunta, y la investigación confirma, que existen otros argumentos de peso que explican por qué estas situaciones se consideran tan diferentes (Covello, Sandman y Slovic, 1988). (Covello, 1991). (Freudenberg y Rusch, 1994). Por ejemplo, uno de esos riesgos no nos resulta familiar y posiblemente afectará a generaciones futuras, mientras el otro es cotidiano y sólo nos afectará a nosotros mismos; el primero no puede ser controlado, se impone involuntariamente, etcétera. En otras palabras,

riesgo significa bastante más que meras probabilidades o consecuencias asociadas (Slovic, 1987).

La aproximación psicológica a la percepción del riesgo, y en particular el trabajo realizado desde el denominado *paradigma psicométrico*, se ha centrado precisamente en identificar las características, tanto del peligro en sí como del individuo que lo percibe, que subyacen a estas diferencias y que tanto influyen en la percepción y aceptación de los diversos riesgos. El término psicométrico hace referencia a la *metodología* empleada por estos autores y que podría sintetizarse como sigue (McDaniels, Axelrod y Slovic, 1995). En primer lugar, se elabora un listado de peligros o situaciones arriesgadas y se diseña una serie de escalas psicométricas, incluyendo los atributos relevantes en la configuración de las percepciones. A continuación, se pide a los sujetos que evalúen el listado de peligros en cada una de las escalas. Por último, utilizando métodos estadísticos multivariantes, se identifican e interpretan los conjuntos de factores subyacentes a la variabilidad de las respuestas.

Los resultados de los primeros estudios psicométricos sobre las actitudes hacia la energía nuclear, realizados en Estados Unidos a lo largo de los setenta (Otway y Von Winterfeldt, 1982), demostraron que la percepción y aceptación del riesgo se basaban en ciertos *atributos de los peligros*.

La exposición involuntaria al riesgo, la incertidumbre acerca de las probabilidades o consecuencias de su exposición, el miedo a lo desconocido, los beneficios no detectables, los accidentes poco frecuentes pero catastróficos, etcétera, son algunos de los atributos generales de los peligros más influyentes en su percepción y aceptación. Un atributo especialmente relevante es la *equidad en la distribución de riesgos y beneficios*. La equidad se produce cuando aquellos sujetos que soportan los riesgos de una tecnología disfrutan también de los beneficios que de ella se deriven. En el otro extremo se encontraría la situación de no equidad, en la que unos afrontan los riesgos mientras que otros obtienen los beneficios (Pidgeon, 1997).

Una importante distinción es la existente entre *riesgo individual* y

* Departamento Metodología Ciencias del Comportamiento. Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid

** Grupo Percepción Social y Comunicación del Riesgo. Programa Riesgo Industrial. Cienmat



► **Figura 1.** Entre los usos de la radiación percibidos más favorablemente por la población, la diagnosis de enfermedades mediante rayos X es la que goza de mejor aceptación.

riesgo social (Green, 1979), posteriormente planteada en términos de *riesgo personal* y *riesgo general* (Sjöberg, 1995). Esta diferenciación permitió destacar el denominado *sesgo optimista*, constatado empíricamente en multitud de ocasiones. Se trata de un sesgo, o desviación, según el cual se infravalora la probabilidad de ser afectado personalmente por un peligro, mientras que se sobreestima la de que el afectado sea el propio país o grupo.

Probablemente la aportación más significativa del paradigma psicométrico sea la que proviene del Grupo de Oregón (Fischhoff, Slovic, Lichtenstein, Read y Combs, 1978), (Slovic, Fischhoff y Lichtenstein, 1980), (Slovic, 1992). Sus múltiples investigaciones han constatado que la evaluación de los atributos de los peligros presenta un patrón sistemático, de forma que la percepción del riesgo se relaciona íntimamente con la posición que la actividad/peligro ocupe en un espacio definido por dos factores: *amenazador* y *desconocido*. El factor más importante es el amenazador, ya que cuanto más alto puntúa un peligro en ese fac-

tor, más elevada es la percepción del riesgo, mayor es la demanda de reducción de ese riesgo y mayor es el deseo de que se apliquen regulaciones estrictas para reducirlo.

2. El riesgo radiológico

Probablemente la conclusión general más significativa a la que ha llegado la investigación en el caso del riesgo radiológico es que *no existe una percepción uniforme o consistente*. Las numerosas encuestas psicométricas que a lo largo de los ochenta examinaron la percepción de los riesgos y beneficios de diversas tecnologías constataron que tanto la percepción como la aceptación de los riesgos radiológicos están determinadas por el contexto específico en que se utilicen. Una segunda generalización que merece comentarse alude a la constante divergencia entre la percepción de la población en general y la de los expertos, excepción hecha de las aplicaciones bélicas de la energía nuclear, en la que las percepciones de ambos colectivos son más coincidentes. La población considera ciertas aplicaciones de la radiación mucho más arriesgadas y amenazantes que los ex-

pertos (centrales y residuos), mientras que en otros casos está mucho menos preocupada de lo que los expertos consideran debería estar (radón y rayos X) (Slovic, 1996).

Los usos de la radiación percibidos más negativamente son los almacenamientos de residuos radiactivos, los accidentes en las centrales nucleares y las consecuencias de una guerra nuclear. Se trata de las actividades que mayor temor originan, al considerarse incontrolables, amenazantes, catastróficas, letales y desequilibradas en su distribución de riesgos y beneficios. Los residuos nucleares constituyen en este momento el eje principal en la controversia relacionada con la energía nuclear, constatándose una creciente radicalización del conflicto en torno a la localización de emplazamientos (Dunlap, Rosa, Baxter y Mitchell, 1993). Parece, en suma, que la percepción de los almacenamientos de residuos es aún más negativa que la de las centrales nucleares (Sjöberg y Drotz-Sjöberg, 1994).

Por su parte, entre los usos de la radiación percibidos más favorablemente, la diagnosis de enfermedades mediante rayos X es la apli-

cación que goza de mejor aceptación. Dentro de este contexto más favorable merece destacarse el caso del radón, objeto de importante preocupación para los expertos, pero que parece suscitar una importante indiferencia entre la opinión pública. Algunos estudios, realizados en zonas caracterizadas por altos niveles de radón doméstico, han ratificado la existencia de actitudes muy apáticas entre los residentes. Más aún, la mayoría de los encuestados consideraba que, aunque el radón podría ser un problema para sus vecinos, no lo era en absoluto para su propio hogar (Sandman *et al.*, 1987).

3. Percepción en España

En el presente artículo se comentan las percepciones de los riesgos radiológicos de una muestra de la población española. Estos resultados forman parte de una investigación más amplia realizada en el marco del proyecto Riskpercom, financiado por la Unión Europea y en el que participan centros de investigación de cinco países (Francia, Reino Unido, Suecia, Noruega y España). En el caso español, el grupo de trabajo está integrado por el Ciemat y la Facultad de Psicología de la Universidad Complutense de Madrid, y cuenta con la colaboración del CSN.

3.1. Método

Muestra

Los datos referidos a la percepción subjetiva de los riesgos radiológicos fueron obtenidos de una muestra de la población española de adultos mayores de 18 años, representativa del Estado español. La muestra fue seleccionada por una empresa especializada en realizar encuestas por correo, que dispone de un panel de sujetos de todo el país.

El número total de participantes fue de 495, de los cuales el 49,9 % fueron varones y el 50,1 % mujeres. En cuanto a la edad, la media fue de 40,95 años, con una desviación típica de 14,44 y un rango de 18 a

● Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las percepciones de los riesgos desde el punto de vista de la gravedad personal.

Riesgos	Media	D. típica	Asimetría
Consumir alcohol	3,56	2,06	-0,49
Contraer el sida	3,69	2,90	0,31
Calentamiento de la Tierra	4,44	2,07	-0,35
Radiación por radón doméstico	3,02	2,07	0,39
Accidente de tráfico en carretera	4,79	1,79	-0,08
Destrucción de la capa de ozono	5,16	1,91	-0,73
Centrales nucleares españolas	4,17	2,26	-0,19
Centrales nucleares de Europa Occidental	3,82	2,31	-0,03
Centrales nucleares de Europa del Este	3,85	2,38	-0,08
Radiación natural	3,09	1,97	0,44
Residuos nucleares	4,12	2,38	-0,20
Acciones terroristas	4,47	2,25	-0,32
Comida contaminada con sustancias radiactivas	3,91	2,63	-0,02
Rayos X	2,60	1,77	0,72
Armas nucleares	4,22	2,61	-0,28
Lluvia radiactiva Chernóbil	3,31	2,70	0,26
Violencia y agresiones	4,25	2,08	-0,18
Arsenal nuclear	4,00	2,65	-0,23

74 años. Por grupos de edad, la muestra presenta un cierto sesgo, cuando se compara con la distribución de edades del censo, ya que están ligeramente infrarrepresentados los jóvenes. La mayor parte de los sujetos (55%) tiene estudios primarios o secundarios. En cuanto a orientación política, la mayoría de los sujetos (40%) ocupa posiciones centristas. El 83% se considera de clase media. Algunas de las preguntas de la encuesta hacían referencia a sus posiciones sobre aspectos medioambientales, constatándose que el 82% de los sujetos piensa que está seriamente deteriorado; el 75% manifiesta tener interés por los problemas medioambientales y el 61% señala que en sus acciones tienden a proteger y respetar el medio ambiente.

Procedimiento

Todos los sujetos cumplimentaron un cuestionario enviado por co-

reo. En la encuesta se presentó la mayor parte de los riesgos usuales en las investigaciones psicométricas sobre percepción de riesgos, además de varios riesgos radiológicos.

Los sujetos debían valorar en una escala de ocho grados cada uno de los riesgos, bajo diferentes puntos de vista: en qué medida cree que le pueden afectar personalmente, en qué medida a los españoles en general y cómo percibe los beneficios derivados de los diferentes riesgos. Los grados van de 0 (el riesgo no existe) hasta 7 (el riesgo es muy grande) para los riesgos. La graduación para los beneficios derivados de dichos riesgos es la misma, pero significando el 0 que el beneficio no existe y el 7 que es muy grande. Se les presentaban algunas escalas adicionales que, en la mayor parte de los estudios derivados del paradigma psicométrico, ayudan a caracterizar e interpretar

● **Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de las percepciones de los riesgos desde el punto de vista de la gravedad sobre los españoles en general.

Riesgos	Media	D. típica	Asimetría
Consumir alcohol	5,47	1,26	-0,77
Contrair el sida	5,52	1,42	-0,581
Calentamiento de la Tierra	4,71	1,74	-0,40
Radiación por radón doméstico	3,57	1,80	0,23
Accidente de tráfico en carretera	5,61	1,30	-0,73
Destrucción de la capa de ozono	5,20	1,72	-0,73
Centrales nucleares españolas	4,96	1,78	-0,61
Centrales nucleares de Europa Occidental	4,34	2,01	-0,36
Centrales nucleares de Europa del Este	4,32	2,14	-0,31
Radiación natural	3,49	1,82	0,14
Residuos nucleares	4,71	1,82	-0,38
Acciones terroristas	5,67	1,45	-0,93
Comida contaminada con sustancias radiactivas	4,11	2,32	-0,07
Rayos X	2,92	1,71	0,55
Armas nucleares	4,53	2,23	-0,44
Lluvia radiactiva Chernóbil	3,51	2,40	0,23
Violencia y agresiones	5,30	1,50	-0,72
Arsenal nuclear	4,26	2,47	-0,34

las valoraciones de los riesgos. Estas escalas hacían referencia al grado de conocimiento personal y de las autoridades del país, a la protección personal frente a los riesgos, a las acciones de las autoridades españolas para proteger a los ciudadanos y a la importancia concedida a que el Gobierno reduzca los riesgos.

El tiempo medio de cumplimentación del cuestionario completo fue de aproximadamente 55 minutos. Las encuestas fueron realizadas en el mes de septiembre de 1996, después del décimo aniversario del accidente de Chernóbil.

Análisis de los datos

Los datos fueron analizados con el programa SPSS para Windows, versión 6.12. Para el presente estudio se llevaron a cabo análisis estadísticos descriptivos de los riesgos radiológicos y algunos de los no radiológicos usuales en otras in-

vestigaciones, utilizados como referentes de los radiológicos.

Uno de los objetivos frecuentes del paradigma psicométrico es clasificar o agrupar los riesgos en función de su parecido o similitud, basándose en las percepciones subjetivas de los sujetos (McDaniels *et al.*, 1995). Siguiendo esta tradición, se realizaron análisis de conglomerados para agrupar los riesgos, utilizando un algoritmo de formación de conglomerados jerárquico, mediante el programa Cluster del paquete SPSS. Como medida de similitud se utilizó la correlación entre los riesgos y como procedimiento de creación de conglomerados el método de Ward, cuyo criterio consiste en que la varianza intraconglomerado sea mínima.

Se realizaron tres análisis de conglomerados, según la percepción de la gravedad de los riesgos en cuanto a que pueden afectar personalmente, a los españoles en ge-

neral y según los beneficios percibidos derivados de los riesgos.

3.2. Resultados y discusión

Análisis descriptivos

En las tablas 1, 2 y 3 se presentan las medias y desviaciones típicas de las calificaciones dadas por los sujetos a los riesgos radiológicos y a algunos otros riesgos de referencia. La tabla 1 presenta las valoraciones desde el punto de vista personal; la tabla 2, desde el punto de vista de los españoles en general, y la tabla 3, desde el punto de vista de los beneficios percibidos derivados de cada uno de los riesgos. Además de los estadísticos usuales, media y desviación típica, se presenta también en las tablas una medida de asimetría o sesgo, que en una distribución normal debería tomar el valor de 0. Se presenta esta medida para indicar hasta qué punto las distribuciones de respuestas están polarizadas o no hacia alguno de los extremos de la escala de respuesta. Una asimetría positiva indica que las valoraciones se concentran en las puntuaciones inferiores de la escala, mientras que la negativa expresa una concentración en los niveles más altos.

Como puede observarse en la tabla, desde el punto de vista personal, hay tres riesgos radiológicos que ocupan las posiciones inferiores: rayos X, radón doméstico y radiación natural, cuyas valoraciones son inferiores a las de riesgos no radiológicos, familiares a los sujetos, como el del consumo de alcohol. Puede resultar sorprendente la baja valoración dada al radón, que puede deberse a la falta de conocimiento sobre sus efectos a pesar de que la tasa de respuesta a esta pregunta fue superior al 75%. Este resultado coincide con los encontrados por otros autores (Sandman *et al.*, 1987).

Puede señalarse también la parecida valoración que reciben los riesgos ligados a arsenal nuclear, centrales nucleares españolas, resi-

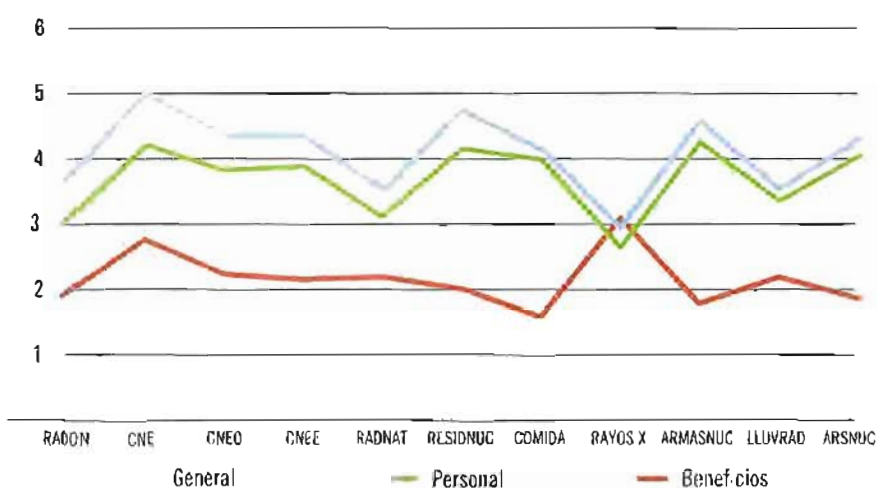
duos nucleares y armas nucleares, con valoraciones altas en los cuatro casos y, de nuevo, en concordancia con la mayor parte de las investigaciones publicadas (Slovic, 1996). No obstante, es destacable que la valoración de la gravedad de estos riesgos es inferior a la que reciben otros riesgos no radiológicos, tanto relacionados con el medio ambiente (contaminación atmosférica y destrucción de la capa de ozono), como no relacionados (violencia y agresiones, terrorismo y accidentes de tráfico).

En la tabla 2 se presentan las valoraciones dadas a los mismos riesgos, pero desde el punto de vista de cómo pueden afectar a los españoles en general. Como puede observarse, la percepción que los sujetos tienen de cómo pueden afectar los riesgos a los españoles en general es levemente superior a la personal, lo que pone de manifiesto de nuevo el denominado sesgo optimista (Sjöberg, 1995). Aún así, y por lo que se refiere a los riesgos radiológicos, la ordenación se mantiene prácticamente igual que en el caso anterior. Varían considerablemente, no obstante, las valoraciones dadas a otros riesgos que son susceptibles de un mayor control personal, como el consumo del alcohol y el riesgo de contraer el sida, que son muy altos desde el punto de vista de los españoles en general. De nuevo, son considerados muy graves tanto riesgos medioambientales (calentamiento de la Tierra y destrucción del ozono), como no ambientales (violencia y agresiones y terrorismo), siendo este último el que tiene una valoración más alta.

Finalmente, en la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos bajo el punto de vista de los beneficios. En general, como puede observarse, los beneficios son bajos en todo los casos, pero es interesante observar cómo cambia la posición relativa de algunos de los riesgos, como los rayos X, que es el mejor valorado, y el de las cen-

► Tabla 3. Estadísticos descriptivos de las percepciones de los riesgos desde el punto de vista de los beneficios derivados de los riesgos.

Riesgos	Media	D. típica	Asimetría
Consumir alcohol	2,47	2,52	0,56
Contraer el sida	2,11	2,67	0,78
Calentamiento de la Tierra	2,06	2,28	0,77
Radiación por radón doméstico	1,89	1,97	0,79
Accidente de tráfico en carretera	2,27	2,65	0,65
Destrucción de la capa de ozono	1,98	2,49	0,90
Centrales nucleares españolas	2,75	2,37	0,34
Centrales nucleares de Europa Occidental	2,25	2,27	0,66
Centrales nucleares de Europa del Este	2,13	2,31	0,79
Radiación natural	2,19	2,06	0,60
Residuos nucleares	2,00	2,37	0,85
Acciones terroristas	2,12	2,71	0,79
Comida contaminada con sustancias radiactivas	1,57	2,26	1,33
Rayos X	3,05	2,19	0,18
Armas nucleares	1,77	2,33	1,12
Lluvia radiactiva Chernóbil	1,39	2,17	1,52
Violencia y agresiones	2,04	2,58	0,81
Arsenal nuclear	4,00	2,65	-0,23



► Figura 2. Valoraciones medias de los riesgos radiológicos: riesgo personal, riesgo general y beneficios.

trales nucleares españolas. Como es lógico, otros riesgos tales como armas nucleares, arsenal nuclear, radón, residuos, etcétera, son percibidos como no generadores de beneficios, destacando en particular la baja valoración de las actividades bélicas (Dunlap *et al*, 1994).

En la figura 2 se presentan gráficamente las medias para los riesgos radiológicos bajo los tres puntos de vista.

Análisis de conglomerados

Los resultados de los análisis de los conglomerados se presentan en

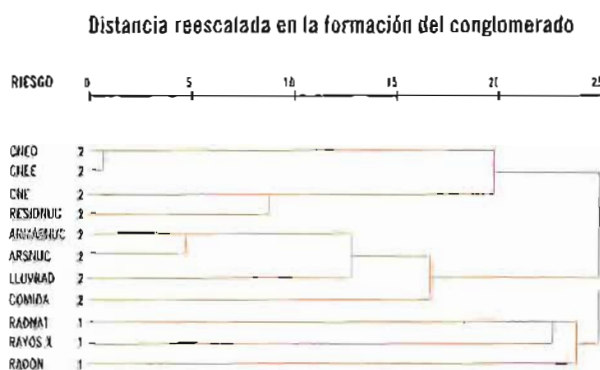
las figuras 3, 4 y 5. Como puede observarse en la figura 3, los riesgos evaluados desde el punto de vista de la gravedad personal se agrupan en dos conglomerados. El conglomerado 1 está formado por los riesgos que las personas consideran menos graves, como puede verse en los análisis descriptivos del apartado anterior, y con los que conviven cotidianamente, como son los rayos X, el radón y la radiación natural. En el segundo conglomerado se agrupan los riesgos considerados graves por los sujetos y mucho menos familiares, como son las centrales, residuos, armas y arsenales nucleares. Todos ellos son riesgos con elevado potencial catastrófico y poco controlables por los sujetos (Fischhoff *et al.*, 1978), (Slovic, 1992). El caso de la comida contaminada por sustancias radiactivas merece una consideración especial ya que, aunque aparece vinculado al conglomerado 2, es decir a los riesgos graves, poco controlables y con alto potencial catastrófico, puede observarse que es el último que entra en el conglomerado y que ocupa una posición intermedia entre los dos.

Los resultados del análisis de conglomerados desde el punto de vista de la gravedad para los españoles en general se presentan en la figura 4. Como puede observarse, los resultados son prácticamente idénticos a los anteriores, encontrándose los mismos dos grandes conglomerados, y situándose la comida contaminada por sustancias radiactivas entre ambos, aunque perteneciente al grupo 2. La única pequeña variación frente al caso anterior se encuentra en los riesgos del conglomerado 1. En la figura 3 se parecían más entre sí el radón y la radiación natural (como puede verse en el dendrograma), mientras que en la figura 4 aparecen como más similares la radiación natural y los rayos X, siendo el radón el último que entra a formar parte del conglomerado.

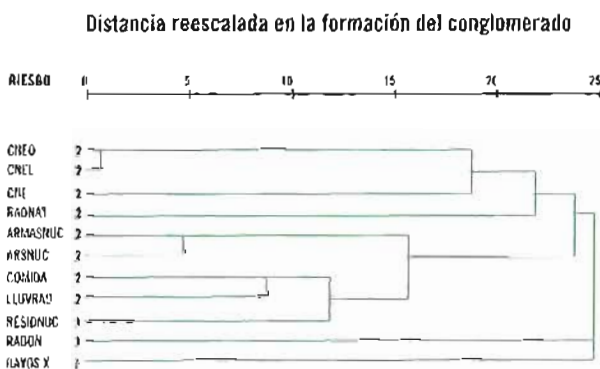
► **Figura 3.** Dendrograma que representa la formación de los conglomerados de riesgos radiológicos desde el punto de vista de la gravedad con la que creen les puede afectar personalmente.



► **Figura 4.** Dendrograma que representa la formación de los conglomerados de riesgos radiológicos desde el punto de vista de la gravedad con la que cree que pueden afectar a los españoles en general.



► **Figura 5.** Dendrograma que representa la formación de los conglomerados de riesgos radiológicos desde el punto de vista de los beneficios que generan.



CNEO = Centrales nucleares de Europa Occidental • CNEE = Centrales nucleares de Europa del Este • CNE = Centrales nucleares españolas • RESIDNUC = Residuos nucleares • ARMASNUC = Armas nucleares • ARSNUC = Arsenal nuclear • LLUVRAD = Lluvia radiactiva debida al accidente de Chernóbil • COMIDA = Comida contaminada por sustancias radiactivas • RAYOS X = Rayos X • RADON = Radiación debida al radón doméstico • RADNAT = Radiación Natural

En la figura 5 se presentan los resultados de la agrupación de los riesgos bajo el punto de vista de los beneficios que los sujetos perciben en ellos.

Puede observarse que los resultados varían con respecto a los dos casos anteriores. En primer lugar, el conglomerado 1 agrupa solamente el radón doméstico y los rayos X, mientras que la radiación natural pasa a formar parte del conglomerado 2, encontrándose den-

tro de éste más próximo a las centrales nucleares. Residuos, lluvia radiactiva y comida contaminada parecen formar un subgrupo claro dentro del conglomerado 2.

4. Conclusiones

¿Cuáles son las principales aportaciones de esta línea de investigación en lo que se refiere a la aceptación de los riesgos radiológicos? La primera conclusión, la aportación principal, sería haber constata-

tado que existe una lógica en la percepción social de este tipo de riesgo, que no nos enfrentamos a razonamientos irracionales y sin sentido. Por ejemplo, el importante grado de aceptación de los rayos X se basa en la nítida percepción de su *equidad*, sus beneficios son directos y, además, es familiar y de uso cotidiano. Del mismo modo, la apatía que suscita el riesgo del radón parece deberse a un importante desconocimiento, a su origen natural, así como al hecho de que la propia formulación *radón doméstico* probablemente haya suscitado asociaciones con lo cotidiano y familiar. La radiación natural acontece en un entorno familiar y

confortable, no provocada por el hombre, ante ella no existen posibles culpables. En el polo opuesto se situaría el radical rechazo a los emplazamientos de residuos, explicable en términos de su origen tecnológico, de la posibilidad de asignar culpables y de su ausencia de equidad.

Por lo que se refiere a los beneficios, en general no se perciben en los usos de la radiación, a excepción de los rayos X. Merece destacarse el cambio de posición relativa de las centrales nucleares españolas desde esta dimensión, dato que resulta de sumo de interés de cara a la aceptación de sus riesgos.

Aunque los beneficios de las centrales nacionales se consideran superiores a los de las centrales extranjeras, parece existir un importante desconocimiento sobre la riqueza que generan estas instalaciones. Esta podría ser una cuestión clave en el diseño de estrategias de información y comunicación con la población.

En definitiva, cuanto más se conozca y profundice en la lógica de la percepción, mayor será la posibilidad de comprenderla e integrarla en el razonamiento técnico, facilitándose así el diseño de estrategias de comunicación y participación social que permitan superar los actuales conflictos en torno a la energía nuclear. ☞

Referencias

- Covello, V.T., Sandman, P., Slovic, P. (1988). *Risk Communication, Risk Statistics and Risk Comparisons: A Manual for Plant Managers*. Chemical Manufacturers Association, Washington, DC.
- Covello, V.T. (1991). *Risk comparisons and risk communication: issues and problems in comparing health and environmental risks*. In: *Communicating Risks to the Public* (eds. R.E. Kasperson, P.J.M. Stallen). Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Dunlap, R.E., Rosa, E.A., Baxter, R.K., Mitchell, R.C. (1993). *Local attitudes toward siting a high-level nuclear waste repository at Hanford*. In: *Public reactions to nuclear waste*, pp. 136-172. In: R.E. Dunlap, M.E. Kraft, & E.A. Rosa. Durham: Duke University Press.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read S., Combs, B. (1978). *How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits*. Policy Sciences, 9, 127-152.
- Freudenberg W.R., Rusch, J.A. (1994). *The risks of putting the numbers in context: a cautionary tale*. Risk Analysis, 14, 949-958.
- Green, C.H. (1979). *Someone out there is trying to kill me: acceptable risk as a problem definition*. Unpublished paper presented at the International Conference of Environmental Psychology, University of Surrey, Guildford.
- McDaniels, T.L., Axelrod L.J., Slovic, P. (1995). *Characterising perception of ecological risks*. Risk Analysis, 15, 575-588.
- Otway, H.J., Von Winterfeld, D. (1982). *Beyond acceptable risks: on the social acceptability of technologies*. Policy Sciences, 14, 247-256.
- Pidgeon, N., Beetle, J. (1997). *The Psychology of Risk and Uncertainty* (ed. P. Calow et al). Oxford Blackwell Science.
- Sandman, P.M., Weinstein, N.D., Klotz, M.L. (1987). *Public Response to Risk from Geological Radon*. J. Commun. 27, 93-108.
- Slovic, P., Fischhoff, B., Lichtenstein, S. (1980). *Facts and fears: understanding perceived risk*. In: *Societal Risk Assessment* (eds. Schwing and W.A. Albers). New York: Plenum.
- Slovic, P. (1987). *Perception of Risk*. Science, 11, 607-618.
- Slovic, P. (1992). *Perception of risk*. Science, 36, 280-285.
- Slovic, P. (1996). *Perception of risk from radiation*. In: *Radiation Protection Dosimetry, Radiation risk, risk perception and social constructions* (eds. J.B. Reitan, U. Bäverfjord & G.N. Kelly). Publication No EUR 16518 EN of the CEE, Luxembourg.
- Sjöberg, L., Drott-Sjöberg (1994). *Risk perception. Comprehending radiation risks. A Report to the IAEA* (eds. B. Lindell, T. Malmfors, E. Lagerlöf, T. Thedéen & G. Walinder). Vienna International Atomic Energy Agency.
- Sjöberg, L. (1995). *Explaining risk perception: an empirical and quantitative evaluation of cultural theory*. Centre for Risk Research (Report No 22). Stockholm School of Economics, Sweden.

 Ann MacLachlan*

Nuclear Mis-Communication: Who's to Blame?

El siguiente texto reproduce íntegramente la conferencia que pronunció Ann MacLachlan en el CSN en octubre del pasado año sobre los problemas que plantea la comunicación pública de las cuestiones relacionadas

con la energía nuclear. La autora reflexiona sobre las causas de la falta de entendimiento entre las partes implicadas y las posibles fórmulas para superar las dificultades.

I have been at the business of energy journalism for over 20 years. And for all those two decades I have been hearing the nuclear industry wonder why people don't understand how wonderful nuclear power is, and beat their collective breast about how they must do more to get their message across.

Obviously, it's a problem of mis-communication. Communication, in theory, is a two-way street. Who's to blame when the wrong message is projected? The receiver? The sender? The context? The message itself?

I'm not a sociologist, or an expert in communication with the general public, so I think it's most useful if address the issue of communication between journalists and the nuclear community, especially since the vast majority of people get their image of nuclear from television and newspapers.

A common refrain one hears in the nuclear community is that it's

the fault of the media—that is, somehow the truth gets lost on the way to the front page or the evening news. The most flagrant illustration of this view is provided by the Chernobyl accident, where for years we have heard that people are getting sick from reading newspaper reports about the health risks from Chernobyl fallout.

Unfortunately, this is partly true, but is it the journalists' fault?

It's true that sometimes, one has the impression that journalists are either biased, or lazy, or are willing to parrot uncritically any statement by a politician or someone they can call an *expert* as long as he is against nuclear power.

I believe that in most cases, journalists are trying their best to remain *objective* and *critical* by questioning the established order in nuclear as well as in politics or economics. In fact, journalists believe they are endowed with a holy mission to expose lies and wrongdoing in every sphere; they are natural skeptics, natural critics.

More prosaically, they are often too much in a hurry to look for the other side of the story. Sometimes this ends up making them mouth-

piece for those who *do* know how to communicate: the opponents to nuclear.

I understand there was a recent media controversy in Extremadura about the health impact of the Almaraz nuclear power plant. This is not an isolated case: the same thing has been going on for years around the Krümmel nuclear plant near Hamburg. There, a group of citizens, backed by a dedicated scientist, have been claiming a link between a cancer cluster and the nuclear plant's radioactive releases, which are very, very small. Local politicians have taken up the debate over the nuclear plant. The Krümmel case has been taken to the Supreme Court in Berlin.

Does this sound familiar? Is it wrong if a journalist cites a scientist and a politician saying a nuclear plant is harmful? Is he not simply doing his job, reporting the statements of important society personalities?

It's not that simple. In principle, an equally important part of his job is to make sure his readers get what I call full picture. In the case of our nuclear plant controversy, this should consist in getting a state-

* Licenciada en Lingüística por la Universidad de Michigan y periodista, es editora europea de McGraw Hill desde 1982, grupo que incluye la revista *Nucleonics Week* y cuatro publicaciones más.



► Figura 1. Ann MacLachlan, durante su conferencia en la sede del CSN.

ment from the plant or the operator, who will of course deny that the plant is dangerous. Then he must seek further opinions in the scientific community to round out the picture. All this, may I emphasize, takes time and considerable effort.

Some journalists may not do this, and they are wrong. Sometimes it may be because they know their readers, or their editors, are not interested in a dispassionate presentation of the facts.

Science writers for prestigious French publications tell me they have no chance of getting top editorial attention for articles about nuclear power unless those articles have what American journalists call *sex and violence*, whether political or technical.

The increasing hegemony in the life of the general media of television, with its emphasis on the spec-

tacular and on personal impact, is exaggerating this trend.

Even my relatively calm publications, which serve mainly the nuclear industry, are ruled by the real-news imperative. I can assure you that we will not print a *good news* story about nuclear unless it is also real news. No news, they say, is good news; too-good news is also no news. You may think this situation is unfair; I prefer it to the other extreme, illustrated by the *good news* syndrome of the former Soviet Union.

I'm sure you are not surprised that I think nuclear mis-communication is not, or not entirely, the fault of the media. What about the emitters of the message, the nuclear community itself?

Ah hah, she says! Finally, a chance to tell you what you're doing wrong!

Well, no that much, actually. But let me mention just a few reasons why the message may not be getting across as the nuclear industry would like.

First, my experience is that some companies and organisations in the nuclear field are not reactive enough. Even in a weekly publication, a journalist does not need full scientific information tomorrow. He needs fresh facts and fresh opinions today -and he will call the sources who answer the quickest. Deadlines are despots.

I think some organizations are simply not devoting enough resources to information and not entrusting their communications function to high-level people. Some are evidently so afraid of the media that they do not allow their press attaches to give any information at all. More than once I have simply decided not to call a company press office because I know it will be a waste of time.

Other companies, especially in the Latin cultures I work with, are eager to give information but on their own terms: too much and too late. The French, with their Cartesian education, don't like to communicate until they have an overall view of a subject. Well, that is just too long to wait, and too much to write at the end.

Sometimes our industry sources just don't tell the whole truth. When the ship *Mont Louis* sank in 1984 in the North Sea with a cargo of gaseous uranium hexafluoride, it was Greenpeace that first told us the cargo included reprocessed uranium. A spokesman for one of the responsible companies tried much to hide that fact.

Greenpeace, by the way, knows very well how to *communicate* with the press: they tip us off, they provide documents and commentary designed to be quoted, and they are very clear.

The nuclear community also seems to think that somehow if journalists only were more *educated*

about things nuclear, they would write glowing articles or produce laudatory TV programs.

They aren't entirely wrong. Some journalists are surprisingly ignorant about important concepts like radiation and the nature of plutonium. But should we really be surprised? The average journalist must cover a broad range of topics—otherwise your newspapers would cost a lot more than they do! Even a highly specialized journalist like myself has to deal with an incredible array of subjects in fields as varied as power production, chemistry, commodity markets, economics, health, politics.

Further, a journalist can't afford to spend time *learning*—much less *being educated*—about one topic or another: he's under too much pressure to produce.

I, personally, object to the idea that one must *educate* journalists, about nuclear energy. For one thing, it won't work: any reporter you try to *educate* will run the other way. Moreover, even with the best education, the journalist can't know all he needs to know to judge a situation. I have been invited to visit nuclear plants in Slovakia, Russia, or Armenia, on the theory that once I have seen the plant I will recognize it as *safe*. Well, I have been to a few plants in both East and West, and all I can say is that they are clean, neat, or well-organized—not whether or not they are *safe*.

Andre Giraud, one of France's most brilliant senior managers, once observed that no single person—himself included—can judge a complex situation like the safety of a nuclear installation. Instead, he said, such judgements can be made only by a team pooling their expertise in different fields.

People often assume I have a science background, I suppose because I write reasonable articles and I am not hostile to nuclear power. You now know it's not true. The journalist's best ally is not a doctoral degree but good common



► Figura 2. Vista de la central nuclear de Chernóbil.

sense allied with articulate and trustworthy sources. A fellow journalist, Tom Wilkie of the London Independent, once said all the *information* the journalist needs are four telephone numbers of sources he can turn to confidently for quick help on a given topic.

In the past 10 years, the nuclear community has stopped speaking about *education* of the media; now, it is more chic to communicate. That's progress: *education* implies that *you* know the truth and that you are going to make me recognize it. *Communication* implies that you have a message that you want me to receive. But I don't want a message: I want objective information, so I can make up my own mind. How many times have I called a spokesman of a company to ask for a certain piece of information, and received a predigested, optimistic *message* instead?

Unfortunately, this tactic works too often, because probably someone will publish that message, but don't call that information.

We have also been hearing too much, in my view, about *transparency* in the nuclear industry. Nuclear *transparency* came to France

just after Chernobyl—just after glasnost in the Soviet Union. So far, the effect has been less revolutionary than Mr. Gorbachev's version. For *Électricité de France*, *transparency* means “we tell you if we have an incident”. That's very positive, since incidents used to be covered up in France and still are in some other places. But the *transparent* party still remains in control of what information he gives out. To me, true transparency is when the media have access to basic financial or regulatory documents on a regular basis, as is possible for example at the United States Nuclear Regulatory Commission. Otherwise, the more you insist how open you are, the more skeptical we become.

Despite this criticism, I want to emphasize that most of the actors in the nuclear scene are making a sincere effort to communicate, even to inform, and to respond to the needs of the media, which is not an easy task. So I have difficulty concluding that the nuclear community is to blame for miscommunication.

Both sides, media and the nuclear community, can of course im-

prove their performance in this two-way street. However, they cannot change the basic message.

I suggest that the fundamental problem with communicating about nuclear lies in the message itself.

The nuclear community is torn between its desire to project an image of a properly controlled activity and the inherent uncertainty of the basic scientific data. I mean the health effects of ionizing radiation.

When a colleague of mine heard about the recent reduction in radiation dose limits, he said to me, "You see? That proves that the previous limits were too high". People see that the levels never go up, but always down, reinforcing the impression that the experts keep finding and correcting earlier mistakes. Why shouldn't we assume that the current levels themselves are too high for good health? Who really knows what level of radiation is harmless? Or should we trust those eminent experts who tell us that a little bit is good for us?

One of the things people don't usually know is that radiation is everywhere, that human habitats and our bodies themselves are radioactive. Maybe that's what has preserved the human race this far and fostered evolution. But that's a natural phenomenon; even if scientists tell us that background radiation gives much higher doses than nuclear power plants, or even than the remnants of atomic weapons fallout, we still have the nagging feeling that the *natural* level is OK, and the artificial level, no matter how low, is going to make us sick. Unfortunately, the scientific data needed to refute this view is not yet available. This uncertainty also presents a major handicap in such a long-term activity as nuclear waste disposal, which is typically feared even more than nuclear power plants.

Nowhere is the debate about radiation's effects better illustrated than Chernobyl. Ten years after the

accident, the conflict of information about its consequences is no closer to resolution. Part of this comes from the incredibly complex social and political context in the countries involved. But a journalist simply cannot discard the *counter-information* about Chernobyl's health impact—especially in light of what we are now learning about the initial honesty of the *official* Soviet data and explanations.

I attended a large conference in Vienna this year that was aimed at summing up the consequences of Chernobyl. I sat through four and a half days of sometimes very detailed scientific presentations, read thick expert reports, listened to all the discussions, attended all the press conferences. I came back to



Paris determined to write the definitive article on Chernobyl's effects, the one that would clear up all the conflicting information swirling around the world media on that fateful 10th anniversary.

Well, I failed. I could not, in seven thick books and innumerable other sources, find the truth. In particular, I could not find the answer to the question on everyone's mind: how many people have died or are ill because of this accident, and how many will be affected in the future? Until the experts agree on these numbers—and they won't—there will be controversy on every anniversary of the Chernobyl accident.

A common criticism from nuclear circles is that the media al-

ways exaggerate nuclear risks in comparison to other hazards far more dangerous. This is true, and I understand how frustrating it must be.

However, I don't believe that people are ready to consciously accept the idea of comparative risks. They don't accept it in their daily lives, so why should they in something as abstract as energy, in something still so speculative as the risks of radiation? I know that smoking can kill me, it's been proven, but at least I can comprehend that link and, if I choose to smoke, it is my own choice.

But in fact people do not consciously opt for risky activities. They simply don't want to think about the potential consequences of their actions: if they want to smoke, or to drive without a seatbelt, they will do so, and assume subconsciously that they will be in the percentile that doesn't get hurt. They also don't have any feel for low probabilities: the man who believes he will win the lottery is the man who believes he will be harmed by that highly improbable nuclear accident.

Until the nuclear community can say, "There's no risk in radiation, there's no danger of an accident at this installation"—and the nuclear community is too honest to make such statements—, it will continue to be seen as guilty until proven innocent, and its message will remain ambiguous.

So how do we deal with this situation? Are there ways to improve communication in the nuclear domain?

First, to make your case, make sure you have a good case to make. One of the publications in our group was criticized some years ago for revealing information about a German nuclear plant incident which had important safety implications but had been kept from the public for about a year. Our reaction: we didn't have the accident, friends; you did.

Second, let both press and public ask the questions they want to ask. The head of a committee investigating public attitudes towards nuclear power in Japan told me that, to the industry's surprise, people didn't really want technical details about nuclear plants. What they wanted was to feel that the plants were *good neighbours*. This requires human contact –not, or not only, facts. *Électricité de France*, for example, now trains its nuclear plant staff to field questions about radiation and other general topics that might be raised in local cafes and dinner parties.

The French government, so heavily committed to nuclear power, has set up a High Council for Nuclear Safety and Information, essentially to provide a controlled forum for debate about any and all nuclear issues. Members are named by official decree from all sectors of society –industry, medicine, safety agencies, government administrations, scientists, journalists, parliamentarians, trade unionists, environmentalists. I have the privilege of being the only foreign member of that group at present. My impression is that the authorities are truly anxious that a debate take place. Often it is a little superficial, we only meet four times a year. But it is better than nothing, and it provides a mechanism for communicating with a broader public, in the event of a real nuclear emergency, for example. The debate within the council has also made it possible to resolve some specific problems. For example the council invented the nuclear event severity scale in broad use in France and some other countries today, and helped authorities define a policy about medical protection of nuclear industry workers.

Third, as I said before, be available. This applies not only public relations people but also to their bosses. Seek opportunities to give reporters a story, and be as concrete



► Figura 3. Visita al centro de almacenamiento de residuos radiactivos de La Manche (Francia).

te and specific as possible; it will strengthen confidence. Nuclear's opponents have learned how to cultivate the media –why not the industry?

Finally, be clear. Take the time to make sure journalists have understood what you have said. Try to put radiation units in perspective, because I can tell you that it does the industry's image no good to see those billions and billions of becquerels escaping from nuclear plants every year.

I personally believe that it will be impossible to get rid of opposition to nuclear energy. You'll have to live with it. It existed before Chernobyl, before Three Mile Island, even during the energy crises of the 1970s. I believe that the image of nuclear will improve only when people are convinced that its benefits outweigh the disadvantages.

This means that you have to tell them what nuclear is good for. One former EDF plant manager told me that many public visitors to his station thought nuclear plants were used to produce waste. Perhaps electricity bills should have information about where the power comes from, including nuclear plants.

You will have guessed by now my conclusions: that in nuclear mis-communication, no one side is to blame. The technology is exceedingly complex, the social and political stakes are high, so it's inevitable that from time to time, the wires of communication get crossed.

To minimize those occasions, journalists can make further efforts to comprehend the technology and the context of nuclear energy; those who promote nuclear can try to project a clear, honest message.

Nuclear energy today is handicapped by a general perception of energy abundance, suggesting to the public that nuclear is unnecessary and can be abandoned. In such a context, it's very difficult to project a balanced image of nuclear, since no disadvantage need be tolerated if the technology isn't needed.

If and when supply crises occur, even small ones, or if concrete evidence of global warming appears, and nuclear power is seen to be a useful, or even indispensable, energy source, I believe the public attitude will change very quickly. Mis-communication will always exist –it's human nature– but it will no longer be an obstacle to nuclear's public acceptance. ☺

Noticias

● Consejo de Seguridad Nuclear	40
● Información general	43
● Tecnología	44
● Centrales nucleares.....	44

● Ciclo del combustible y gestión de residuos...	46
● Protección radiológica	46
● Cursos, reuniones y conferencias.....	46
● Publicaciones.....	47

● CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

CSN y DSIN acuerdan intercambiar personal técnico

Los organismos de seguridad nuclear español y francés acordaron intercambiar personal técnico para asistir a los simulacros de emergencia que se realizan en ambos países de forma regular, durante la reunión bilateral que se celebró en París los días 5 y 6 de febrero pasado. Entre otras cuestiones, en la reunión también se decidió estudiar la posibilidad de realizar otros intercambios de personal para actividades concretas, con estancias de entre dos semanas y tres meses, y la posibilidad de efectuar inspecciones cruzadas en temas de interés común. En cuanto a la actuación en casos de emergencia real, se acordó mantener nuevos contactos para temas relacionados con la tercera fase de la emergencia y estudiar el establecimiento de un acuerdo de colaboración mutua en caso de emergencia. La reunión estuvo encabezada por el presidente del CSN, Juan Manuel Kinde-lán, y el director de la DSIN, André-Claude Lacoste.

Ampliación de laboratorios de la Red Revira

El CSN y las universidades de Castilla-La Mancha, Zaragoza, La Coruña y Oviedo han firmado acuerdos específicos, dentro de los convenios marco de colaboración, para la rea-

lización de tareas de vigilancia radiológica ambiental. Hasta el momento son ya 19 el número de universidades con las que el CSN mantiene acuerdos de cooperación.

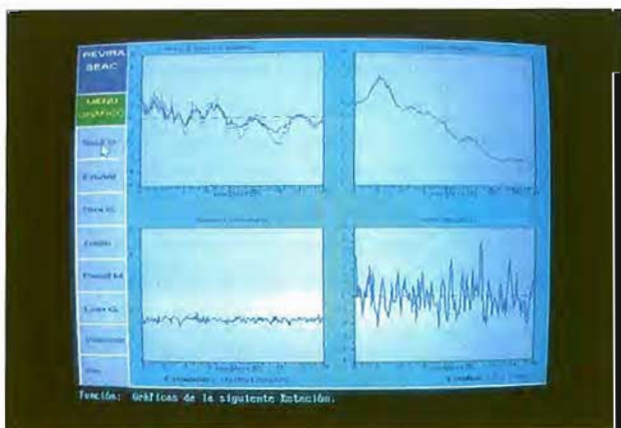
En el caso de Castilla-La Mancha, el acuerdo fue firmado el pasado 10 de marzo y contempla la instalación de un laboratorio de Radiología Ambiental en el campus de Ciudad Real, que se encargará de la vigilancia de la radiactividad ambiental y que se integrará en la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (Revira) del CSN, ya que la comunidad castellano-manchega carecía de semejante servicio, a pesar de mantener dos centrales nucleares. Para realizar su cometido, este laboratorio analizará muestras procedentes del polvo atmosférico, del agua de lluvia y de los suelos de la comunidad.

Aedenat, en el CSN

Atendiendo a la invitación realizada por parte del CSN, miembros de la Asociación Ecologista de Defensa de la Naturaleza (Aedenat) mantuvieron una reunión en la sede del organismo, el pasado 3 de marzo, para intercambiar puntos de vista e información. Por parte del grupo ecologista asistieron su presidente, José Luis García Cano, Ladislao Martínez y Juan Cordero, mientras que por el CSN participaron el director técnico, Antonio Gea; la jefa del Gabinete de Presidencia, Carmen Martínez Ten; el subdirector de Centrales Nucleares, Ignacio Lequerica; la jefa de Área, Isabel Mellado, y el subdirector de Protección Radiológica, José Luis Butragueño. Durante el encuentro se trató del estudio epidemiológico sobre poblaciones cercanas a centrales nucleares, del estado del programa de Análisis de Experiencia Operativa y Sistemas (AEOS) de la central de Trillo, del resultado de las inspecciones de las penetraciones del fondo de la vasija de la central José Cabrera y, finalmente, del acondicionamiento de los silos de grafito y del plan de desmantelamiento de Vandellós I.

Jornada sobre paleosismicidad

El día 18 de marzo se celebró una jornada en la sede del CSN en la que se presentaron los resultados de las investigaciones financiadas con dos becas de este organismo y realizadas durante los años 1994-1996, en el campo de la paleosismicidad para calcular la peligrosidad sísmica de emplazamientos y la dispersión de contaminantes radiactivos en aguas superficiales.



Datos de la Red Revira, en la Sala de Emergencias (Salem) del CSN.

En el primer caso, el objetivo ha sido desarrollar una metodología en paleosismicidad, contribuyendo de este modo a la mejora del conocimiento y a la evaluación del comportamiento de los futuros emplazamientos de almacenamiento de residuos radiactivos para predecir el comportamiento a largo plazo de la barrera geológica, así como a la reevaluación de los emplazamientos de otras instalaciones nucleares.

En el segundo caso, el objetivo ha sido profundizar en la modelización de la dispersión de contaminantes radiactivos liberados accidentalmente desde centrales nucleares ubicadas junto a ríos y embalses.

El CSN en Internet

Desde el mes de abril, el CSN dispone de un servicio de información pública en la red Internet. En sus páginas Web se ofrece amplia información referida a las activida-



Página de presentación del servidor del CSN en Internet.

des y composición del CSN, destinadas al público general. Además de la información genérica, se presta especial atención a las instalaciones nucleares y radiactivas, a la protección del medio y a los planes de investigación y desarrollo. Por otra parte, se recoge la legislación que afecta

Principales acuerdos del Pleno del CSN

Renovación de acuerdos específicos con laboratorios de la Red Revira

El CSN ha resuelto prorrogar para el año 1997 los acuerdos específicos existentes con las Universidades de Islas Baleares, Extremadura (Badajoz), Extremadura (Cáceres), Cantabria, Granada, Sevilla, Politécnica de Valencia, La Laguna, León, Politécnica de Madrid, Málaga, País Vasco, Salamanca y Valencia, para que los respectivos laboratorios continúen asociados a la Red Revira.

Contenedor DPT para el transporte de combustible irradiado

El Pleno del CSN emitió el pasado 19 de diciembre la apreciación favorable del diseño del contenedor ENSA-DPT para el transporte de combustible irradiado. Esta apreciación, junto con la ya emitida para el diseño del contenedor para el almacenamiento, completa la primera etapa del licenciamiento.

Propuestas de expedientes sancionadores en instalaciones nucleares

El Pleno del CSN ha decidido proponer la apertura de un expediente sancionador a la central nuclear de Almaraz por incumplimiento de Espe-

cificación Técnica de Funcionamiento en relación con los sucesos de falta de inserción de barras de control. Asimismo, se ha propuesto apertura de expediente sancionador a la central José Cabrera por incumplimiento de Especificación Técnica de Funcionamiento en la exigencia de vigilancia respecto a medidas del coeficiente de temperatura del moderador.

Tapa de la vasija de José Cabrera

El CSN ha emitido apreciaciones favorables para el inicio de actividades de montaje, para la criticidad del reactor una vez analizados los resultados de las pruebas. Asimismo, ha emitido un informe favorable para la autorización de la puesta en marcha.

Almacén de contenedores de la central nuclear de Trillo

En su reunión del 19 de diciembre de 1996, el Pleno del CSN otorgó la apreciación favorable a las bases de diseño del almacén de combustible irradiado mediante contenedores en seco presentado por la central nuclear de Trillo.

Ascó II y Almaraz I: pruebas tras la sustitución de generadores de vapor

Tras la sustitución de los generadores de vapor de la central nuclear

Ascó II y Almaraz I, el Pleno del CSN realizó la apreciación favorable de los resultados de las pruebas técnicas realizadas.

Convenio marco con el Instituto de Salud Carlos III

Tras haber acordado en octubre pasado el establecimiento de un convenio marco con el Instituto de Salud Carlos III, el Pleno del CSN aprobó su contenido y acordó proceder a la firma del mismo. El convenio tiene como objetivo establecer mecanismos de colaboración entre ambos organismos en todas aquellas actividades dedicadas a mejorar el conocimiento de la relación entre posibles efectos de las radiaciones ionizantes y la salud de la población en general, principalmente mediante la realización de estudios epidemiológicos en el entorno de las centrales nucleares.

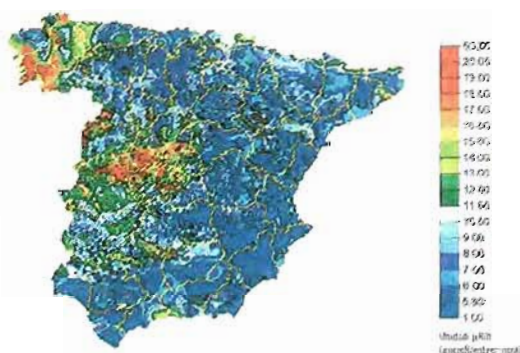
Planificación estratégica

El Pleno del CSN ha aprobado en los últimos meses diversos planes estratégicos de la actividad del organismo: Plan Estratégico de Calidad, Plan de Protección Física, Plan de Publicaciones, Plan de Formación, Planificación de actividades de la Dirección Técnica para 1997 y Manual de Organización.

a estas cuestiones, las publicaciones del CSN (en algunos casos, como en el del informe semestral, con la publicación completa de textos) y las actividades de información pública. Asimismo, se ofrece información con datos renovados cada día del estado operativo de las centrales y de los valores medidos por la red Revira, pudiéndose obtener también series históricas de estos datos. La dirección para conectarse es: <http://www.csn.es>.

Premio de la SNE

La Sociedad Nuclear Española (SNE) concede cada año un premio al mejor artículo publicado en su revista. El correspondiente a 1996 fue adjudicado al que llevaba por título *El proyecto Marna. El Mapa de Radiación Gamma Natural de España*, escrito por Enrique Suárez, del CSN, y Luis Ángel Fernández Amigot, de ENUSA, responsables del proyecto Marna. El premio fue otorgado el 17 de febrero pasado durante la Asamblea General de la SNE.



Mapa de radiación natural de España.

Ponencia sobre protección radiológica en el Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud

El presidente del CSN intervino en Madrid ante el Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud el pasado 17 de febrero, por invitación de este organismo, con la intención de profundizar la colaboración existente entre el CSN y el Ministerio de Sanidad. Entre las conclusiones de su intervención destaca la invitación para constituir una ponencia o grupo de trabajo de carácter permanente en torno a la protección radiológica, cuya creación ha sido aprobada en una resolución posterior. Destaca, asimismo, la propuesta de colaboración en materia legislativa y reglamentaria, la coordinación de esfuerzos para incrementar la *cultura de la seguridad* en la población, la cooperación en la realización de estudios epidemiológicos y el establecimiento de un marco de colaboración permanente sobre problemas concretos, como las instalaciones de rayos X.

Revisión del acuerdo de encomienda con Cataluña y Navarra

A finales de 1996 tuvo lugar la firma de las revisiones de los acuerdos de encomienda de funciones del CSN con las comunidades autónomas de Cataluña y Navarra, que están

en vigor desde mayo de 1985 y diciembre de 1990, respectivamente. Estos acuerdos, que están contemplados en la Ley de creación del CSN, encomiendan la realización de actividades técnicas o de prestación de servicios públicos en lo que se refiere a la inspección y control de instalaciones radiactivas.

Conferencias en el CSN

Dan J. Beninson, presidente del Ente Nacional Regulador Nuclear de Argentina, ofreció, el 24 de enero, una conferencia en la sede del CSN titulada *Algunos aspectos actuales de la radioprotección: exposiciones potenciales*. En ella destacó los nuevos caminos que debe seguir la protección radiológica a raíz de los estudios más recientes.

El 19 de febrero, el profesor Emilio Muñoz, del Instituto de Estudios Sociales Avanzados, del CSIC, habló de la *ética de la investigación y el desarrollo*. Durante su charla, el profesor Muñoz expuso la evolución de la percepción que la sociedad tiene sobre el papel de los científicos y cómo éstos también son cada vez más conscientes de las implicaciones éticas de su trabajo.

Historia de la medicina nuclear fue el título de la conferencia dictada el día 20 de marzo por el doctor Manuel Castell, del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital de Bellvitge. El doctor Castell hizo un repaso de las distintas etapas de esta disciplina, que ha ido cobrando con el tiempo una importancia creciente dentro del campo de la salud.



Presentación de la conferencia del doctor Castell (en el centro).

Reunión del comité mixto con Portugal

El 19 de febrero tuvo lugar en Lisboa la XIV reunión de la Comisión Técnica Permanente establecida entre España y Portugal para la cooperación en materia de seguridad de instalaciones nucleares, creada en 1980. En ella se trataron temas de legislación, situación energética de ambos países, situación del plan de residuos radiactivos y el calendario de ejercicios conjuntos, entre otros asuntos.

La delegación española, presidida por el consejero Rafael Caro, estuvo integrada por Pedro Lardiez, Ignacio Lequerica, Lucila Ramos, Enrique Suárez, por parte del CSN, y Luis del Val, subdirector de Energía Nuclear del Ministerio de Industria y Energía.

Paralelamente, se celebró la XII Reunión CSN-DGA del Protocolo de Cooperación entre Organismos Reguladores de ambos países, centrada especialmente en la colaboración para la realización de un Mapa de Radiación Natural de la Península Ibérica en su conjunto, uniendo el que está realizando Portugal con el Mapa español. En el área de vigilancia radiológica ambiental se analizó el funcionamiento de las dos estaciones conjuntas existentes (una en España y otra en Portugal), ya que era la primera reunión celebrada desde su inauguración en 1996.

El CSN participa en Heliatom y Expominas



Caseta expositora del CSN en la feria Expominas.

Durante los días 4 al 7 de marzo, se celebró en la ETS de Ingenieros Industriales, en Madrid, la feria Heliatom, en su decimotercera edición. Como ya es habitual, el CSN participó en este certamen nacional de las fuentes de energía. El consejero Rafael Caro moderó la mesa redonda sobre el futuro de la investigación y desarrollo en el sector energético. Por su parte, el consejero Agustín Alonso participó en la clausura de la feria. La caseta expositora del CSN permitió a los visitantes conectarse a la Red Revira y tener acceso a las publicaciones del organismo.

La ETS de Ingenieros de Minas, también en Madrid, celebró del 5 al 8 de marzo la primera edición de la feria nacional de ciencia y tecnología aplicada al aprovechamiento de los recursos naturales (Expominas). En esta feria, celebrada en la sede de la escuela, participó el CSN con una caseta expositora sobre sus actividades.

El presidente del CSN comparece en la ponencia de residuos

En el marco de las comparecencias de diferentes expertos ante la Comisión de Industria, Comercio y Turismo del Senado, dentro de la Ponencia de Residuos Radiactivos, el 20 de marzo intervino Juan Manuel Kindelán, presidente del CSN, quien realizó una exposición de los antecedentes y posibles soluciones al problema del emplazamiento de residuos de alta actividad y larga vida, expresando la necesidad de fomentar la información pública de la realidad del problema y abogando por la consecución de un con-

senso entre los distintos agentes políticos y sociales implicados que conceda cobertura suficiente a las decisiones técnicas que se consideren más idóneas, concretadas en una ley de la más amplia aceptación posible. El secretario general del CSN, Alfonso Arias, compareció en la misma fecha ante los miembros de la ponencia para tratar de aspectos jurídicos y normativos del problema.

Clasificación INES de la contaminación de trabajadores en Vandellós I

El suceso ocurrido durante los trabajos de vaciado de agua de la piscina de combustible gastado de Vandellós I realizados en febrero del pasado año, cuando se produjo un incremento de los niveles de radiación alfa que pudo afectar a los trabajadores que estaban en la zona, ha sido clasificado por el CSN con el nivel 1 de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares. El informe final de control de contaminación interna realizado por el Ciemat concluye que cuatro trabajadores sufrieron contaminación interna, aunque la dosis no superó en ningún caso el 40% del límite anual establecido.

INFORMACIÓN GENERAL

Alto nivel de la seguridad nuclear española

Por iniciativa de la NRC, el organismo de seguridad nuclear estadounidense, a mediados del pasado mes de enero se formó en Washington una asociación internacional que reúne a los ocho países más avanzados del mundo en materia de seguridad nuclear, entre los cuales se incluyó a España. Sin pretender sustituir a los organismos intergubernamentales actualmente existentes en este terreno, este nuevo foro quiere agilizar el intercambio de datos e ideas y ayudar a la coordinación de medidas relacionadas con la seguridad nuclear.

El hecho de haber incluido a España en este restringido club, junto a Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Japón y Suecia, supone un reconocimiento del buen nivel alcanzado en seguridad nuclear y protección radiológica, ya que desde el punto de vista de la potencia eléctrica instalada España ocupa el decimotercer lugar del mundo. La nueva asociación quedará formalmente constituida el próximo mes de junio.

Se constituye un foro iberoamericano de seguridad nuclear

Los máximos responsables de las instituciones encargadas de la seguridad nuclear y la protección radiológica de Argentina, Brasil, México y España han constituido un Foro de Organismos Reguladores Iberoamericanos para el intercambio de información técnica, legal y organizativa de interés mutuo, y para la colaboración general.

La iniciativa, promovida por el CSN español, agrupará inicialmente a aquellos países que cuenten con centrales nucleares, en construcción o en operación, aunque el objetivo a medio plazo es integrar a todos los países iberoame-

ricos interesados en temas de seguridad nuclear y protección radiológica. El foro, cuyas actividades complementarán las de los organismos ya existentes, no tendrá sede ni secretariado permanentes, y su actividad se desarrollará mediante reuniones anuales, la primera de las cuales tendrá lugar el próximo julio en México.

Máster de Ingeniería Nuclear

El pasado 30 de enero tuvo lugar el acto de inauguración del VII Curso del Máster de Ingeniería Nuclear organizado por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) con la colaboración de Ciemat. El acto, en el que se entregaron los diplomas concedidos en el pasado curso, fue presidido por la vicerrectora de investigación de la UAM. La conferencia inaugural fue pronunciada por el consejero del CSN Rafael Caro y versó en torno a la energía nuclear en Europa.



Acto de entrega de diplomas del Máster de Energía Nuclear.

Primera reunión de la Convención sobre Seguridad Nuclear

Entre el 21 y el 25 de abril se celebra en Viena la I Reunión de la Convención sobre Seguridad Nuclear, que entró en vigor en octubre de 1996 tras haber sido ratificada por los preceptivos 26 países, de los cuales al menos 18 debían tener centrales nucleares. Durante este encuentro se elige el secretariado y la sede de la convención y se debaten algunos aspectos importantes sobre la forma y el proceso de seguimiento que deberán tener los informes que cada país firmante deberá entregar a la Convención antes de octubre de 1998. Entre otras cosas se debe decidir el contenido de dichos informes, el proceso de revisión y si se formarán grupos locales para su análisis o si éste correrá a cargo de la asamblea general. La delegación española está encabezada por Agustín Alonso, consejero del CSN. Se da la curiosa circunstancia de que el país promotor de la convención, Estados Unidos, no podrá estar presente al no haber ratificado aún el acuerdo.

TECNOLOGÍA

Seminario sobre el proyecto Phebus-FP

Los pasados días 23 y 24 de enero se celebró en el Centro de Investigaciones Nucleares de Cadarache (Francia) un seminario sobre la marcha y perspectivas futuras del proyecto Phebus-FP, en el que participaron unos 150 especialistas de los países más avanzados en el campo nuclear. La representación española incluía miembros del CSN, del Ciemat y de la Cátedra de Tecnología Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. Este proyecto tiene como objetivo principal analizar el comportamiento del núcleo del reactor y de los productos liberados en el caso de accidentes de severidad extrema.

En el seminario se presentaron y discutieron los resultados del experimento FPTO, realizado en diciembre de 1993, en el que se observó un deterioro del conjunto combustible experimental superior al previsto, así como un comportamiento no esperado del yodo, cuyas causas están siendo investigadas. Se discutieron también los resultados preliminares del experimento FPT1, realizado en julio de 1996 con instrumentación más avanzada y mejores técnicas de análisis. Finalmente se presentó la planificación del experimento FPT4, que se realizará a principios de 1998, cuyo objetivo fundamental es el comportamiento de lechos fundidos de materiales del núcleo, tal como puede ocurrir en las fases finales de un accidente severo.

Reunión del comité científico del proyecto Storm

El Centro Comunitario de Investigación de Ispra (Italia) acogió la segunda reunión del Comité Científico Asesor del Proyecto Storm los días 30 y 31 de enero, en la que participaron representantes del CSN y del Ciemat. El proyecto tiene como objetivo el estudio de la resuspensión de aerosoles previamente depositados en componentes representativos de las centrales nucleares.

Durante la reunión, el comité analizó los resultados de los nueve ensayos realizados hasta ahora y llegó a la conclusión de que los modelos incorporados en los códigos de cálculo actuales no describen con precisión los fenómenos de deposición y resuspensión en flujo turbulento, lo que exige el desarrollo de nuevos modelos. También se discutieron las características y objetivos de los experimentos previstos para 1997.

CENTRALES NUCLEARES

Retraso de inserción de barras de control en Almaraz

En el análisis del comportamiento de los sistemas de parada durante la parada automática de la unidad II de Almaraz del 17 de enero, se detectó que tres de las 48 barras de control se insertaban en el núcleo con cierto retraso en el tramo de recorrido libre, aunque dentro del límite de tiem-

po requerido por las especificaciones técnicas, ya que la barra más lenta se insertó en 1,61 segundos cuando el tiempo máximo es de 2,7 segundos. También se observó en estas tres barras un cierto retraso en los tiempos de inserción en el tramo final de frenado, donde no existe un tiempo límite. El pasado 1 de marzo, durante la prueba programada de caídas de barra al inicio de la décima parada para recarga se detectó el mismo problema de retraso, también dentro de los límites establecidos.

El problema se debe a una incipiente deformación en algunos elementos de combustible muy quemados que contienen barras de control y ha sido detectado en centrales similares de Suecia, Bélgica y Estados Unidos. Los elementos combustibles serán colocados en el núcleo siguiendo los criterios establecidos por el CSN, de acuerdo con las recomendaciones seguidas internacionalmente para esta clase de problemas.

El suceso fue clasificado con el nivel 1 de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES).

Reparación del barrilete de la central nuclear de Garoña

El pasado 16 de marzo se inició una parada programada de la central nuclear Santa María de Garoña para llevar a cabo la reparación integral del barrilete del reactor. La inspección realizada en marzo de 1996 valoró que el problema de agrietamiento de este componente no comprometía la operación de la central porque tenía suficiente resistencia estructural, pero señaló que en el plazo de un año debía iniciarse su reparación. También detectaron problemas en los soportes de las bombas de chorro, que se repararon con unas grapas especiales. Durante la parada se realizará la recarga de combustible.



Central nuclear Santa María de Garoña.

Cambio de la tapa de la vasija y de los generadores de vapor de la unidad II de Almaraz

Coincidiendo con la parada para recarga de la unidad 2 de la central nuclear de Almaraz, iniciada el 1 de marzo, se está procediendo a la sustitución de la tapa de la vasija del reactor y a la sustitución de los tres generadores de vapor. Para ello será necesario realizar un agujero en el muro de



Operaciones de cambio de la tapa de la vasija en José Cabrera.

contención a través del cual realizar la operación. Los generadores de vapor presentan problemas de agrietamiento en los tubos y serán sustituidos por tres generadores de diseño Siemens-KWU. La operación es similar a la realizada en agosto de 1995 en la unidad I de Ascó y, un año más tarde, en Ascó II, aunque en estos casos los generadores se movieron a través de la esclusa de equipos. En el caso de Almaraz I, que también sustituyó los generadores a mediados del pasado año, las pruebas realizadas para comprobar la seguridad estructural del edificio y de hermeticidad del muro de contención tras la operación fueron satisfactorias. Por ello, y dada la experiencia acumulada en ambas operaciones, cabe esperar una resolución satisfactoria de la operación en Almaraz II.

Finalizaron las operaciones realizadas durante la parada de José Cabrera

El 29 de enero la central nuclear José Cabrera inició la operación de recarga número 21. Durante la recarga se procedió a realizar diversas operaciones adicionales, entre las que destacan el cambio de la tapa de la vasija y la inspección realizada para comprobar el estado de las penetraciones del fondo de la vasija, que ha resultado satisfactorio. Con el antecedente de las grietas aparecidas en la tapa de la vasija de otros reactores PWR, en enero de 1994 se detectó una grieta pasante en la de la central José Cabrera, por lo que se procedió a su reparación durante 1995. Aunque la operación de la central podría haber continuado con la tapa reparada, el CSN requirió un riguroso programa de inspecciones que llevó al titular a realizar el cambio de tapa. También se ha llevado a cabo la sustitución del sistema de instrumentación nuclear y la instalación de un sistema de vigilancia de los parámetros de seguridad.

Visto bueno de la NRC a dos diseños de reactores avanzados

Después de varios años de controversias, la NRC aprobó el 6 de diciembre de 1996 los diseños de los reactores Advanced BWR de General Electric y el System 80+ de ABB Combustion Engineering. Sin embargo, el propio boletín del organismo *Inside NRC* subrayaba el hecho de

que en principio no parece que vayan a ser utilizados en Estados Unidos sino que están destinados al mercado internacional. La certificación tiene un periodo de validez de 15 años y contiene algunas salvaguardias para el caso de que se efectúen cambios en el diseño que disminuyan significativamente los niveles de seguridad previstos.

► CICLO DEL COMBUSTIBLE Y GESTIÓN DE RESIDUOS

El OIEA dedicará mayor atención a la gestión de residuos

El OIEA incrementará su dedicación a los problemas relacionados con los residuos radiactivos a partir del año 2000, según se desprende del último informe anual del organismo. Es una de las conclusiones de un panel de expertos que estudiaron el papel de la agencia en el futuro, considerando que el OIEA deberá convertirse en una fuente clave de recursos técnicos en la gestión de los residuos, especialmente para los países menos desarrollados. La agencia ya trabaja en este sentido mediante el establecimiento de centros regionales de demostración. En 1995 decidió establecer uno en Estambul y otro en Santiago de Chile.

Almacenamiento del combustible gastado de Three Miles Island

La NRC estudia conceder al Departamento de Energía de Estados Unidos la licencia para una instalación independiente de almacenamiento del combustible gastado del reactor 2 de la central de Three Miles Island. La licencia, con una duración de 20 años, consistiría en la construcción de un sistema de almacenamiento en seco mediante contenedores en la planta de tratamiento químico del National Engineering Laboratory. Por el momento está pendiente de la evaluación del estudio de impacto ambiental.

► PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Estudios de dosimetría ambiental

Uno de los parámetros a considerar en la estimación de dosis al público por radiación externa es el conocimiento e interpretación de los resultados obtenidos, mediante la denominada dosimetría ambiental. No obstante, dada la inexistencia de pruebas de acreditación para este tipo de dosimetría, el Departamento de Energía de Estados Unidos ha venido realizando un programa voluntario de intercomparación internacional, cuyos resultados permiten a los participantes un medio de control y comparación. En estas campañas colaboran el Brookhaven National Laboratory y el National Institute of Standards and Technology. El CSN, en colaboración con el Ciemat, ha llevado a cabo estudios análogos, aunque no tan completos, con buenos resultados.

Proceso para eliminar el cesio de la leche

La United States Agency for International Development (USAID) empleará un proceso, ya conocido, desarrollado por la empresa Selentec y denominado MAG*SEP, para realizar un experimento de eliminación del cesio de la leche contaminada, en las cercanías de la central de Chernóbil, en Ucrania. Selentec diseñará y construirá un sistema de tratamiento de leche capaz de depurar 450 litros por minuto, así como un sistema de procesamiento de los residuos resultantes. Se estudia también la posibilidad de emplear sistemas semejantes para descontaminar agua, alimentos y otros productos de la zona.

► CURSOS REUNIONES Y CONFERENCIAS

Seguridad a largo plazo de almacenamientos de residuos



Reunión de Córdoba sobre almacenamiento de residuos.

Unos 60 especialistas de varios países se reunieron en Córdoba entre el 20 y el 23 de enero, bajo los auspicios de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE y la organización conjunta del CSN y Enresa, para debatir sobre la regulación del almacenamiento de residuos radiactivos de larga vida. Los debates se centraron en la necesidad de realizar aproximaciones multidisciplinarias al problema, común a la mayor parte de los países de la OCDE, de mantener dichos residuos, procedentes en su mayor parte del combustible gastado de las centrales nucleares, en un aceptable aislamiento respecto del medio ambiente, con especial hincapié en la necesidad de que las medidas que se adopten para semejante salvaguardia sean fruto del consenso nacional, con amplia participación de todos los sectores sociales y objeto de una amplia e intensa información pública. El encuentro también puso de manifiesto las diferencias de criterio existentes entre los sistemas nacionales de regulación de los distintos países.

Efectos biológicos de las bajas dosis de radiación

Sevilla será la sede de la Conferencia internacional sobre los efectos biológicos y el control reglamentario de las bajas dosis de radiación ionizante, que convoca el OIEA y

en la que participarán expertos de numerosos países. En la reunión se debatirá el estado científico de los conocimientos sobre los niveles y efectos biológicos resultantes de la exposición a la radiación ionizante, con la presentación de los resultados de algunos estudios epidemiológicos finalizados, y se informará de las investigaciones en curso.

El objetivo de la reunión es intentar acercarse a una respuesta a la cuestión y estudiar el modo en que puede traducirse a las medidas de regulación y control dentro de las normas de seguridad internacionales. El comité organizador del encuentro está presidido por S.A.R. el Príncipe de Asturias y forman parte de él tres ministros y el presidente de la Junta de Andalucía. Para su preparación se ha establecido un convenio entre el CSN, Enresa, Enusa, Ciemat y Unesa.

► PUBLICACIONES

Molecular epidemiology. Principles and practices

Editado por P.A. Schulte y F.P. Perera. Academic Press Inc., 1993

El reconocimiento de la radiación ionizante como agente cancerígeno ha motivado la realización de estudios epidemiológicos, que tienen como objetivo determinar el riesgo de cáncer en función de la dosis de radiación recibida por el individuo irradiado. La reglamentación nuclear de los distintos países, incluyendo España, exige la realización de estudios epidemiológicos sobre los grupos de población expuestos por razón de su profesión o que habite en las proximidades de las instalaciones nucleares y radiactivas.

La epidemiología clásica es un ejercicio estadístico que consiste en medir el nivel de exposición al agente cancerígeno de los individuos de un conjunto suficientemente grande y observar la aparición de carcinomas u otras afecciones entre tales individuos. La correlación resultante está plagada de incertidumbres, ya que no es posible separar con claridad y en todos los casos los efectos de otros agentes, y las diferencias somáticas y genéticas de los individuos. Requiere además grupos numerosos de población.

La epidemiología molecular viene a resolver el problema, ya que trata de determinar los mecanismos moleculares que desencadena el agente cancerígeno en el individuo afectado desde su introducción en el sistema humano hasta la aparición de la enfermedad. Tales mecanismos incluyen la generación de moléculas o defectos cromosómicos específicos, llamados biomarcadores, a través de los cuales es posible seguir el daño y estimar el riesgo, incluso la certeza, de que aparezca una enfermedad determinada en el individuo analizado. Se trata de una especialidad aún muy joven, pero muy prometedora y ya existe un elenco significativo de biomarcadores para distintos agentes agresivos y tipos de enfermedades, incluido el cáncer. El nuevo procedimiento no se encuentra exento de dificultades

inherentes al complicado sistema químico del ser humano.

El libro ha sido editado por Paul A. Schulte, del Instituto Nacional para la Salud y Seguridad de Cincinnati (Ohio), y Frederica P. Perera, de la Universidad de Columbia (Nueva York) y fue publicado en 1993. Constituye una recopilación muy satisfactoria y completa de los conocimientos que se poseían sobre la materia hasta tal fecha. Incluye contribuciones de 35 especialistas e investigadores de las más prestigiosas universidades y centros de investigación de Estados Unidos. También hay contribuciones procedentes de la Universidad de Lausana (Suiza) y Torino (Italia).

Se divide en dos partes; la primera, que incluye diez capítulos, se dedica al estudio de los aspectos básicos de la epidemiología molecular incluyendo los procesos de generación de biomarcadores y defectos cromosómicos específicos, la estabilidad y fiabilidad de tales manifestaciones, las bases y criterios necesarios para el estudio de un determinado agente nocivo, la construcción y mantenimiento de un banco de muestras biológicas representativas y las implicaciones individuales, sociológicas y éticas derivadas de los descubrimientos de epidemiología molecular.

La segunda parte, que incluye once capítulos, describe ejemplos concretos de agentes y enfermedades en las que ha sido posible identificar biomarcadores específicos. La carcinogénesis recibe un tratamiento específico en el capítulo diez. Aunque se estudian más de una veintena de agentes tóxicos, la radiación sólo se trata muy superficialmente y, en todo caso, de forma no conclusiva. lo que revela que la investigación no ha contemplado aún con detalle este agente desde el punto de vista de la epidemiología molecular. El libro termina con un epílogo en el que se expresa un futuro muy prometedor para el nuevo campo de investigación.

El propio libro declara que ha sido escrito para un espectro muy amplio de lectores interesados en el tema general de la epidemiología; también va dirigido a los investigadores que buscan los distintos tipos de biomarcadores. Sin embargo, aunque se hacen referencias concretas a aspectos relacionados con la gestión de la investigación y sus implicaciones sociales, la mayor parte del libro está escrito para especialistas. *Agustín Alonso.*

Smorn VII. A NEA (OCDE) Symposium on nuclear reactor surveillance and diagnostics *Proceedings. Avignon, France. 19-23 June, 1995.*

Es un libro en dos volúmenes en el que se recogen las ponencias presentadas en el simposio Smorn VII, celebrado en junio de 1995. En esta magna reunión se presentaron a lo largo de una semana 113 ponencias en 15 sesiones. Ciertamente, esta versión del simposio, que ya es un clásico dentro del mundillo nuclear, ha sido la más abundante de todas las celebradas hasta el momento, recogiendo en ella todo lo desarrollado sobre el tema en cuestión. El listado de las 15 sesiones en que se dividieron las ponencias

cias da un idea muy clara de la extensión y detalle con que se trataron los temas:

- ☐ Sesión 1: Experiencia en la vigilancia y *monitoring* de una central nuclear. Análisis de vibraciones y de ruidos, contribuciones alemanas, coreanas, francesas, de Estados Unidos, rusas, canadienses y argentinas.
- ☐ Sesión 2: Control de estabilidad en BWR's. Análisis experimentales y teóricos en reactores de agua en ebullición en España, Japón y Suecia.
- ☐ Sesión 3: Aplicaciones y avances en el tratamiento de señales. Discriminación de armónicos y modos vibracionales; aplicación al barco nuclear japonés Mutsu.
- ☐ Sesión 4: Vigilancia mediante utilización de redes neurales. Sistemas expertos en *monitoring* en tiempo real; análisis espectrales de ruidos, detección de fugas.
- ☐ Sesión 5: Detección de fugas en el sistema primario. Penetraciones en cabezas de vasija de PWR; señales acústicas.
- ☐ Sesión 6: Medidas termohidráulicas y detección de ebullición. Experiencia en Rusia en VVER y RBMK; medidas de temperatura y caudal.
- ☐ Sesión 7: Experiencia de sistemas y desarrollo de nuevos sistemas. Registradores de ruidos; mantenimiento predictivo; *monitoring* de vibraciones.
- ☐ Sesión 8: Estimación de los parámetros físicos del reactor. Funciones de transferencia; coeficientes de reactividad.
- ☐ Sesión 9: Vibraciones de las estructuras. Modelación y vigilancia. Instrumentación *in-core*; análisis teóricos.
- ☐ Sesión 10: Detección de partes sueltas. Experiencia y mejoras. Experiencia internacional: sistemas de *monitoring*.
- ☐ Sesión 11: Nuevas técnicas de análisis: desarrollo y aplicaciones. Evaluaciones computacionales de nuevas técnicas.
- ☐ Sesión 12: Análisis de ruidos neutrónicos del reactor. Investigación experimental y computacional, verificaciones teórico computacionales.
- ☐ Sesión 13: Vigilancia y validación de sensores. Comprobaciones *on-line*; degradación de sensores; calibraciones.
- ☐ Sesión 14: Progreso y tendencias en diagnóstico y vigilancia. Vigilancia y control de sistemas de diagnóstico; sistemas inteligentes.
- ☐ Sesión 15: resultados de Benchmark's. Prácticas de diagnóstico, partes sueltas y redes neurales.

En esta ocasión la organización del simposio corrió a cargo de Electricité de France y el Commissariat à l'Énergie Atomique, con el patrocinio de OIEA, WANO y NEA, con sus subcomités NSC y CSNI.

Ciertamente, para los profesionales que trabajan en los temas comprendidos en Smom, esta publicación, aunque adolece inevitablemente de repeticiones, es una necesidad absoluta y una ayuda total.

Hay un detalle sentimental asociado a la publicación de este libro, y es que está dedicado a Renato Martinelli, fallecido en víspera de su visita al CSN, donde estaba invitado

para pronunciar una conferencia sobre las actividades e historia del Nuclear Science Committee de NEA. El CSN añade su intención a esta dedicatoria. **Rafael Caro.**

Nuclear research reactors in the world

Reference Data Series. IAEA-RDS-3/10

IAEA. Viena, 1996.

Publicación periódica de pequeño formato y referencia útil que recoge todo cuanto sobre los reactores de investigación (en su mas amplia acepción), que estando en operación, construcción, proyecto o parada, resulta de interés mediante la tabulación de datos de información general y otros de carácter mas técnico. El documento actualiza el tema hasta finales de agosto de 1996.

State of the art report on key fracture mechanics aspects of integrity assessments

NEA/CSNI/R(95)1, OCDE/GD(96)6.

OECD. Paris, 1996.

Esta publicación hace patente la importancia de los documentos conocidos con el acrónimo SOAR (*state of the art report*), que desde las técnicas usadas o criterios empleados en el extenso campo del licenciamiento e investigación de las instalaciones nucleares, se publica con la frecuencia que el desarrollo tecnológico aconseja. En este caso concreto que aquí se presenta, se exponen las capacidades y limitaciones de la mecánica de la fractura según los países mas acreditados dentro del Comité para la Seguridad de las Instalaciones Nucleares perteneciente a la Agencia para la Energía Nuclear (NEA/OCDE).

Human reliability analysis in probabilistic safety assessment for nuclear power plants

Safety Series Nº. 50-P-10.

IAEA. Viena.

Las evaluaciones probabilistas de seguridad se dedican cada vez más a analizar las acciones humanas que inciden en la seguridad nuclear. El alcance de este documento cubre los factores que son clave a la hora de incorporar los análisis de fiabilidad humana dentro de los análisis probabilistas de seguridad.

DOE methods for evaluating environmental and waste managements samples

Battelle Press

Interesante libro para los profesionales del impacto ambiental en su aspecto radiológico, dado que en él se exponen tanto los tipos de muestreo más representativos como las determinaciones analíticas, cualitativas y cuantitativas, para la determinación de actividad y composición orgánica e inorgánica, que conducen a la evaluación de muestras ambientales. 

(Page 2)

The evolution of nuclear regulation

● Aníbal Martín

The already not so young history of nuclear regulation shows patterns and specific causes that have characterized and influenced its own evolution as well as the industry itself. Today's regulation is facing relevant challenges with potential significant effects. The quest for higher regulatory efficiency brings up the increasing need to base future actions on firmly established strategies.

(Page 11)

The rising of the land at the nuclear power plant Ascó II

● José García Sánchez
and Luis Ubalde

The rising of the land on which Ascó II is settled is a geological process of slow and falling evolution in the time, studied and followed by means of geophysical models of the underground and continuous auscultation. Their influence on the structures, equipments, components and systems is contemplated in the bases of the design of the power station, whose behaviour towards this phenome-

Resúmenes

non evolves satisfactorily in accordance with control parameters.

(Page 19)

Living PSA concept

● José Ignacio Calvo

Basic definitions contained in the Living PSA concept are described, along with a program of activities and work organization that would be needed to implement that concept. Some characteristics of a Living PSA program which appears as important for success are also discussed. Finally, they are described some technical aspects that would be necessary to get to a future estable and mature program which could accomplish its objective of helping to improve and to make more rational the nuclear power plant operational safety.

(Page 28)

Radiological risk percepción in Spain

● Rosario Martínez-Arias,
Ana Prades, Rebeca Meza
and Rosario Solá

How does society perceive radiation risks? Is there any logic underlying those perceptions? The article describes the results of a cross-cultural survey on radiological risk perception applied to a representative sample of the Spanish population. This study has been carried out in the framework of a research project subsidized by the European Union and the CSN.

(Page 35)

Nuclear Mis-Communication: Who's to blame?

● Ann MacLachlan

The text reproduces entirely the conference that was pronounced by Ann MacLachlan at the CSN in October 1996 about the problems of the public communication in the particular case of nuclear energy. The author meditates upon the causes of the lack of understanding between the involved sides and the suspected formulae in order to overcome the difficulties.

Seguridad Nuclear Boletín de suscripción

Institución/Empresa

Nombre

Tel.

Fax

Dirección

CP

Localidad

Provincia

Fecha

Firma

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

