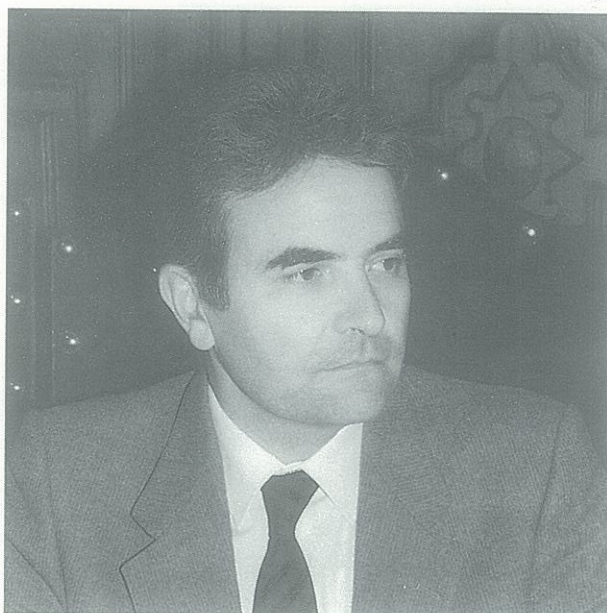


UN CUARTO DE SIGLO DE INGENIERIA Y CONSTRUCCION DE PROYECTOS NUCLEARES: ACIERTOS, PROBLEMAS Y SOLUCIONES

A. GARCIA RODRIGUEZ



Adolfo GARCIA RODRIGUEZ es doctor ingeniero del ICAI. Inició su actividad en el campo nuclear en 1965, como responsable a pie de obra, por parte de la propiedad, de la construcción de la CN José Cabrera. Se incorporó a Empresarios Agrupados en el momento de su constitución, en 1971. Es director general de Empresarios Agrupados desde 1977.

En el año 1988 se cumplen veinte años desde que la Central Nuclear José Cabrera se conectó por primera vez a la red eléctrica. El importante hito conseguido en 1968 era la culminación de un proceso iniciado bastantes años antes y que hubo de cubrir todas las etapas previas: formación del grupo gestor, estudios de viabilidad, selección del suministrador "llave en mano" y ejecución del Proyecto. Es en esta última fase en la que nos vamos a centrar, y no tanto en lo que fue este punto de partida sino en lo que ha sido todo un proceso de casi un cuarto de siglo de duración que, aunque se ha desarrollado con más aciertos que errores, posiblemente precisa, ahora, una profunda reflexión en un contexto internacional.

Queda en estos momentos tan claro como entonces que la nuclear es una fuente energética a la que la humanidad no puede renunciar. Es evidente que la posibilidad de convertir controladamente la materia en energía significa un paso decisivo, que deberá permitir la sustitución paulatina de otras fuentes energéticas más limitadas o que planteen otros problemas de más difícil solución. Afortunadamente, el período en que se va a requerir esta sustitución no es tan limitado que no permita un desarrollo ordenado de la energía nuclear y hasta algunas vacilaciones en el proceso.

La diferencia entre ayer y hoy está, por un lado, en que hemos consumido un cuarto de siglo del período disponible; si bien, por otro, se ha realizado una gran labor en ese lapso de tiempo. Este es el hecho objetivo, aunque el optimismo inicial de casi todos, la impaciencia de muchos, la candidez de bastantes y los intereses de unos pocos, condicionan una impresión errónea sobre lo que ha sido y lo que sin duda será el papel de la energía nuclear, con total independencia de lo que pueda ser la situación coyuntural en estos momentos.

Se ha dicho que el problema actual de la energía nuclear deriva de que se han puesto en ella demasiadas esperanzas en un plazo de tiempo demasiado corto. En poco más de cuarenta años desde los primeros experimentos y treinta desde las aplicaciones iniciales, se ha conseguido su desarrollo tecnológico y su implantación comercial plena. El hecho de que varios países industrializados se abastezcan de energía eléctrica de origen nuclear en porcentajes que llegan hasta el 70 % en Francia es prueba irrefutable de lo anterior.

LOS COMIENZOS

Como es bien sabido, la tecnología nuclear del agua ligera se desarrolló inicialmente a través del extenso Programa de Propulsión Naval Nuclear de los Estados Unidos. A todos los que trabajamos en este campo nos resulta familiar la figura, ya legendaria, del director de ese programa, el almirante Rickover, autor, además, del excelente informe ante los miembros de la Comisión sobre el Accidente de TMI, constituida en requerimiento del Presidente de los Estados Unidos.

La Central Nuclear José Cabrera tuvo como referencia directa el Grupo 1 de la Central Nuclear de San Onofre, en los Estados Unidos. Se concibió con una potencia eléctrica de 60 MW, aunque durante las negociaciones de la oferta inicial se pasó a los 160 MW que finalmente se instalaron.

La primera generación de centrales nucleares, a la que sin duda pertenece José Cabrera, fue una confluencia de las tecnologías que entonces se consideraban probadas: la generación eléctrica mediante combustibles fósiles y la producción de calor en reactores nucleares para propulsión naval. Se trataba, pues, de centrales convencionales en las que se sustituía la caldera por un reactor nuclear —de ahí su denominación inicial de caldera nuclear— y toda una serie de sistemas auxiliares. El concepto estaba tan claro que, de hecho, y desde un punto de vista de la tecnología básica, ha evolucionado escasamente hasta el día de hoy. El reactor y los sistemas auxiliares fundamentales de la Central Nuclear José Cabrera, así como el propio combustible, en poco se diferencian conceptualmente de los últimos reactores PWR en construcción. El asunto era tan obvio, pues, que se podían ofertar las centrales de esta generación, como así se hizo, llave en mano. Los resultados no fueron juzgados en aquella época plenamente satisfactorios. En el caso de José Cabrera, fue preciso emplear del orden de 500.000 horas-hombre (hh) de ingeniería —dos veces y media las necesarias entonces para una térmica del mismo tamaño—, 150.000 hh de dirección y construcción y más de cuatro millo-

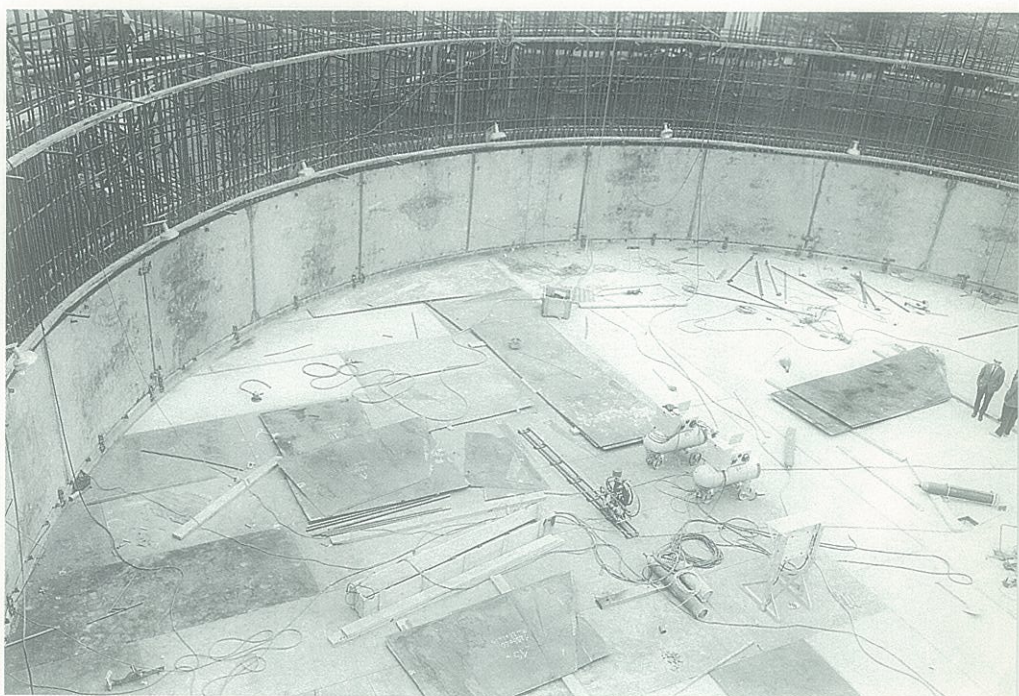
nes de hh de construcción. El esfuerzo para cumplir con los aspectos documentales y físicos inherentes a la instalación nuclear no se habían valorado adecuadamente, por lo cual los suministradores de estas primeras centrales llave en mano perdieron dinero y decidieron abandonar un sistema de contratación que implicaba un riesgo económico excesivo. Las desviaciones no fueron importantes, pero se identificaron aspectos que por estar fuera de un razonable control no podían ser evaluados adecuadamente en un contexto competitivo.

Es conveniente hacer notar que los criterios básicos aplicables a la seguridad de las centrales nucleares (defensa en profundidad y accidentes postulados de baja probabilidad) no han tenido que

nucleares de agua ligera en los Estados Unidos. El aumento de coste sobre lo presupuestado en las centrales anteriores condicionó la decisión de contrarrestarlo mediante el factor de escala. De este modo, se pasó rápidamente de los 300-600 MW anteriores a 800, 1.000 y 1.200 MW.

Totalmente en paralelo con esta nueva generación de centrales nucleares se desarrolló un intenso proceso regulador, del que conviene recordar algunos de los hitos más importantes:

- La Atomic Energy Commission (AEC) publicó en 1969 el 10CFR50 Appendix B, "Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants", introduciendo el nuevo concepto de Garantía de Calidad. La publicación de la Safety Guide 1.28, en 1972, estableciendo



Revestimiento de acero de la segunda losa y primer anillo de revestimiento lateral. Enero 1966

ser revisados en lo esencial y también se mantienen las funciones de seguridad y el criterio de fallo simple. Lo que sí ha sufrido un cambio profundo, y no siempre justificado, es la forma de cumplir con estos criterios. Han surgido requisitos derivados de un mejor conocimiento tecnológico de los fenómenos físicos, se han impuesto márgenes de seguridad más amplios, se han considerado accidentes de menor probabilidad y, sobre todo, se ha regulado extensamente, reinterpretando, sin descanso, el cumplimiento de los criterios básicos.

EL DESARROLLO

A finales de los años sesenta comienza la segunda generación de centrales

un modo aceptable para la implantación de este concepto en ingeniería y construcción, tuvo un impacto considerable en requisitos, documentación y, en definitiva, en el esfuerzo a realizar en estas áreas de actividad.

- En 1970 la AEC inició la publicación de las Safety Guides, transformadas en Regulatory Guides a partir de 1975, en que se constituyó la Nuclear Regulatory Commission (NRC).
- En estos primeros años de actividad reguladora, se introdujeron una serie de nuevos requisitos y criterios, de gran impacto en los proyectos, entre los que merece señalar los siguientes: 10CFR50, App K (ECCS), WASH-1270 (ATWS), Reg. Guide 1.75 (Segregación Física de Siste-

mas Eléctricos), BTP 9.5-1 (Protección Contra Incendios), Reg. Guide 8.8 (ALARA), NUREG 588 (Cualificación Ambiental) y Reg. Guide 1.100 (Cualificación Sísmica de Equipos Eléctricos).

- En 1978 se publicó la revisión 3 de la Regulatory Guide 1.70, que afectó de manera sustancial a la estructura y contenido de los Informes de Seguridad.
- El accidente de TMI, ocurrido en marzo de 1979, tuvo como consecuencia un considerable impacto en diversos aspectos de la normativa aplicable a las centrales nucleares, con nuevos requisitos que han ido apareciendo progresivamente a partir de 1980.

que parece preferible evaluarlos globalmente.

Desde el punto de vista físico la evolución de la normativa ha incidido en nuevos requisitos para los materiales, estructuras, equipos y sistemas. La consecuencia es un aumento considerable en las unidades de obra —metro cúbico de hormigón, acero de armaduras, acero estructural, cables eléctricos, tuberías, etc.—, así como también en la mayoría de los equipos: bombas, cambiadores, válvulas, cabinas eléctricas, sistemas de control, etc. Se puede estimar que las unidades señaladas se han visto incrementadas desde 1970 en porcentajes situados entre el 50 % y el 100 %. Por otro lado, el precio unitario de equipos y materiales y el de su ins-

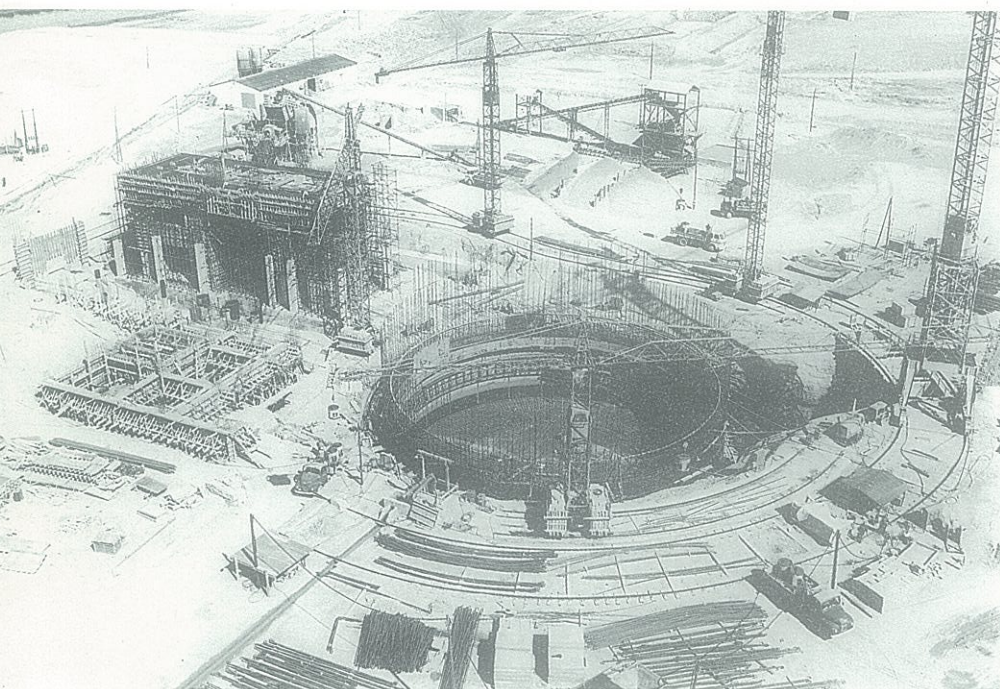
ño, gestión de suministros, diseño de campo e ingeniería de apoyo a puest en marcha— ha pasado, en los Estados Unidos, de $1,7 \times 10^6$ hh, estimadas en 1971, a $10,9 \times 10^6$ hh, en los años 1982-1983, según el banco de datos de Ramesh N. Budwani de Burns and Roe, Inc., publicado periódicamente en la revista *Power Engineering*. En nuestra propia experiencia en España hemos visto crecer la ingeniería del proyecto —ingeniería y diseño— desde 800.000 hh, estimadas en 1971, hasta alrededor de cinco millones registradas en los últimos proyectos. Además, ha sido necesario abordar con rigor el diseño de detalle en campo de multitud de estructuras y sistemas, que anteriormente no lo requerían formalmente. En lo que se refiere a la construcción el incremento del esfuerzo supera ampliamente los porcentajes de aumento de unidades de obra. Según R. N. Budwani, en 1970-1972 se estimaban en los EE. UU. $5,3 \times 10^6$ hh de mano de obra directa —“craft”— para la construcción de un grupo nuclear, cantidad que pasaba a ser de $31,5 \times 10^6$ hh en estimaciones de 1982-1983. Aunque en España no exista un número de plantillas suficientes para poder comparar tendencias a largo plazo, sí podemos concluir que nos movemos en los órdenes de magnitud absolutos registrados en los Estados Unidos, aunque generalmente en la zona inferior del rango. Parece claro, pues, que sólo una parte del incremento del esfuerzo de construcción se debe a mayor volumen de obra, mientras el resto se deriva de requisitos de ejecución considerablemente más estrictos, y de modificaciones sobre trabajos ya realizados con secuencia de la falta de estabilidad de la normativa.

Aunque, como se ha dicho, se han producido incrementos importantes en la práctica totalidad de las actividades necesarias para desarrollar un Proyecto Nuclear, son la ingeniería y la construcción las que se han visto afectadas en mayor proporción. Estas dos actividades tienen hoy un peso propio considerable dentro del Proyecto. Además de ellas se deriva un efecto inducido proporcionalmente mayor, ya que son las que determinan en gran parte el plazo de ejecución y, por tanto, el costo total del Proyecto, a través de los elevados intereses intercalarios que se han venido registrando en los últimos años.

SITUACION ACTUAL

Nos encontramos, pues, ante una situación que se podría formular del siguiente modo:

- Disponemos de una tecnología de reactores de agua ligera plenamente demostrada.



Vista general del edificio del reactor y del de turbina. Enero 1966

Las centrales contratadas a finales de los años sesenta y a lo largo de la década de los setenta, en los Estados Unidos, tuvieron que convivir con el proceso de elaboración y revisión de la normativa. Otros países que, como España, diseñaban y construían centrales nucleares con tecnología base americana, se vieron afectadas de manera similar.

La situación descrita se puede considerar que ha tenido dos efectos sobre las instalaciones, uno permanente y otro transitorio. El permanente se refiere a los aspectos físicos y de ingeniería, mientras que el efecto transitorio se deriva de la necesidad de introducir cambios en trabajos ya efectuados con otros criterios. Es difícil cuantificar separadamente ambos efectos, por lo

talación, ha sufrido, también, un incremento importante, derivado de la mayor dificultad para cumplir con condiciones más estrictas.

La incidencia sobre la ingeniería de la planta es aún más importante. Resulta de interés señalar, por otro lado, que se refiere fundamentalmente a la ingeniería asociada al Balance of Plant (BOP). La ingeniería básica, incluida en el Nuclear Steam Supply System (NSSS), no representa un volumen significativo, ni se ha visto afectada en la misma proporción. Se da, pues, el caso, a primera vista sorprendente, de que el impacto se ha producido sobre la “periferia”, que pasa ahora a tener un peso y una importancia considerables para el desarrollo del Proyecto. La ingeniería de la planta —ingeniería y dise-

- Se ha registrado un incremento sostenido de los costos de estas instalaciones desde las primeras aplicaciones comerciales al día de hoy.
- La tecnología y su aplicación ha madurado considerablemente. No obstante, no existen garantías de que el proceso normativo se haya estabilizado y menos aún la tendencia ascendente de los costos de primera instalación.
- La opinión pública no es hoy mayoritariamente favorable a la opción nuclear, de lo cual se derivan consecuencias políticas y prácticas importantes.
- Se registra una cierta sobrecapacidad temporal en la potencia instalada, y el precio de los hidrocarburos parece haberse estabilizado.

Existen algunos factores inherentes a la energía nuclear, en su estado actual, sobre los cuales se pueden tomar medidas. Por el contrario, hay otros, relacionados con el estado de la opinión y sus efectos, cuyo tratamiento, si existe, queda fuera del alcance de cualquier consideración técnica.

Hay que partir necesariamente de lo que se ha hecho, tanto en el plano internacional como en España, para, conservando lo mucho positivo realizado, aplicar plenamente las lecciones aprendidas. Las centrales nucleares actuales deben extender su operación lo más posible y se debe pensar en que las próximas generaciones de centrales respondan a idéntica tecnología, con aquellos perfeccionamientos que se deriven de la experiencia de operación.

Sobre la base de lo anterior, tenemos una amplia experiencia adquirida y en curso para poder mejorar la situación y reducir los costos.

En primer lugar, se debería realizar un esfuerzo considerable por estabilizar la normativa, estableciendo criterios de seguridad uniformes en el plano internacional. No se puede decir que la situación actual requiera un replanteamiento de fondo, pero sí que convendría una revisión global para eliminar las consecuencias de un desarrollo en cierto modo desordenado.

El modelo de gestión de los proyectos nucleares se ha basado en el sistema utilizado para las centrales térmicas.

Esta fórmula, que pudo estar justificada en sus comienzos, ya no es posible mantenerla. La necesidad de estudiar, definir, documentar, construir, probar y licenciar, hasta los más mínimos detalles de la instalación, hace pensar en la conveniencia de adoptar esquemas de licencia muy claros y procedimientos muy elaborados, más propios de la

industria que de la construcción, y, en particular, parecidos —salvando todas las distancias— a los habituales en aviación civil. No es posible seguir construyendo centrales nucleares a la medida, sino partiendo de DISEÑOS CERTIFICADOS adaptables con relativa facilidad a cada caso. No se puede realizar la ingeniería totalmente en paralelo con la construcción, ni improvisar los procedimientos constructivos.

Se requiere, pues, un eficaz proceso de estandarización promovido por las empresas eléctricas. Se precisan también organizaciones estables, muy profesionales, capaces de mantener y adaptar los diseños estándar y de estudiar, optimizar y dirigir los procesos constructivos.

ca. Los diseños estándar deberán, por tanto, tener una validez limitada, por periodos situados alrededor de los diez años. Todas las centrales nucleares que correspondan a una determinada serie, iniciada durante este periodo, se ajustarán totalmente a su diseño estándar. A partir de ese periodo un nuevo diseño estándar, revisado, incorporaría las mejoras derivadas de las experiencias previas y del desarrollo tecnológico, con validez para un nuevo periodo de tiempo.

La reducción del número de centrales a ser construidas a corto y medio plazo hace que la estandarización no pueda ser abordada a nivel nacional por la mayor parte de los países, y ni siquiera por aquellos más industrializados. El



Exclusa permanente de acceso al edificio de contención. Mayo 1966

EL FUTURO

Parece claro que la única respuesta razonable a la resolución de los problemas que afectan a la industria nuclear es la estandarización. La madurez alcanzada por la tecnología del agua ligera permite considerar que es ahora posible abordar la estandarización del diseño y construcción de las centrales nucleares con mayor éxito que en el pasado.

La madurez de la tecnología permite pensar en una mayor estabilidad de los criterios y los diseños, sin que por ello sea necesario, ni conveniente, su total congelación. Esto quiere decir que la estandarización deberá ser compatible con una necesaria evolución tecnológi-

ejemplo de los planes de estandarización en Francia, Alemania, Italia e Inglaterra es bien elocuente. Su escaso o nulo ritmo, en cuanto al número de unidades a construir, dificulta la aplicación plena del concepto de estandarización. Solamente Japón, con sus series de centrales avanzadas de agua ligera —ABWR y APWR—, parece poder beneficiarse suficientemente de dicha estandarización.

Por otro lado, hay que hacer notar que Inglaterra, Italia y Japón utilizan tecnología americana, aunque los criterios de seguridad han sido modificados de distinta forma en cada país. Consecuentemente, ninguno de los tres diseños sería licenciable en EE. UU., o en

cualquiera de los otros dos países, sin pasar antes por un amplio proceso de revisión que invalidaría en gran parte el concepto de estandarización. En el caso de Alemania, los criterios serían aún más difícilmente conciliables.

La solución ideal a este problema consistiría, lógicamente, en la adopción de criterios de seguridad uniformes por parte de todos los países. En este sentido, el programa NUSS del OIEA representa un tímido intento en esa dirección, ya que el nivel de desarrollo al que llega no es suficiente. Por lo tanto, esta solución ideal no se encuentra, de momento, a nuestro alcance. No obstante, queda el establecimiento de acuerdos de colaboración entre grupos de dos, tres o cuatro países para el desarrollo de diseños estandarizados que puedan ser utilizados por todos ellos. De este modo se podría conseguir el beneficio de la estandarización sin renunciar necesariamente a la libre competencia, ya que sería posible participar en más de un proyecto de esta naturaleza.

Aunque son bien conocidas las ventajas que ofrece la estandarización, puede resultar de interés revisar brevemente aquellas que ofrecen mayor interés:

Optimización del diseño de la central: Derivado de un estudio más profundo de soluciones alternativas, desarrollado con mayor anticipación de lo habitual en un proyecto ordinario.

Mejora del proceso constructivo: El estudio del proceso de construcción y la preparación de procedimientos, simultáneamente con el diseño de la planta, permite la racionalización de la construcción desde la fase conceptual.

Estandarización de equipos y componentes: El proceso permite un cierto grado de optimización y uniformidad de los equipos, dentro de la necesidad de poder utilizar suministros de fabricantes alternativos.

Mejora de la calidad: Derivada del proceso de aprendizaje y mejora de procedimientos a través de la experiencia adquirida en proyectos sucesivos de la serie.

Reducción del plazo del Proyecto: Como consecuencia de utilizar información de ingeniería prácticamente congelada desde el comienzo, así como procedimientos de construcción optimizados en otros proyectos.

Reducción de la inversión: La práctica totalidad de las actividades del Proyecto se pueden ver afectadas por una disminución de la inversión material. Ade-

más, se pueden obtener ahorros considerables en la partida de intereses intercalarios como consecuencia de la reducción en el plazo de ejecución del Proyecto.

Mejora de la operación de la planta: Un acuerdo de colaboración entre varias plantas, que correspondan a una serie estandarizada, puede aportar beneficios mutuos desde los puntos de vista de experiencia de operación, mantenimiento y disponibilidad.

La estandarización puede traer consigo algunas dificultades para formalizar el planteamiento de colaboración internacional propuesto. Los posibles problemas se refieren a la forma de establecer acuerdos efectivos entre los organismos reguladores y también entre las organizaciones propietarias. No obstante, superados esos obstáculos, puede ser una fórmula efectiva para conseguir que la energía nuclear vuelva a ser una opción real en el próximo futuro, tanto en España como en otros muchos países.

Para que ello sea una realidad en España, se debería ir pensando ya cómo se abordan las primeras etapas de un proceso que pasaría, necesariamente, por algún tipo de colaboración activa en una o más de las experiencias en curso en el exterior.

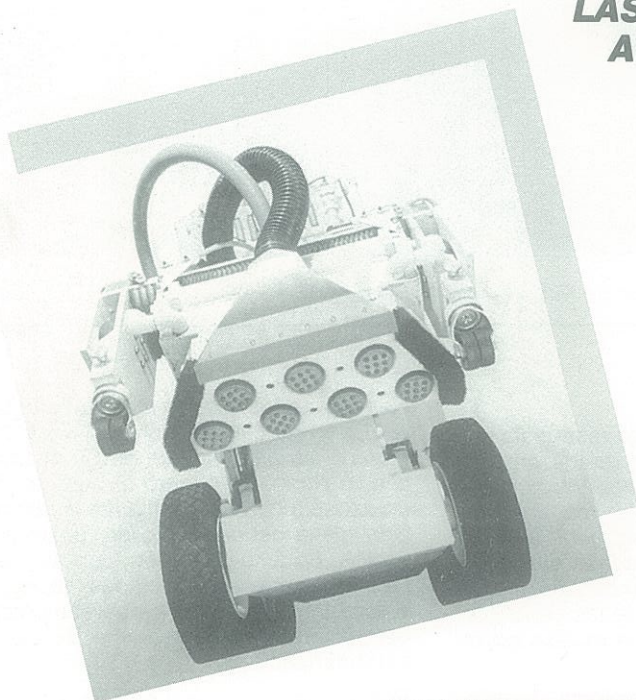
LAS TECNICAS MAS ACTUALES APLICADAS A LAS NECESIDADES DE HOY

DESCONTAMINACION

Equipos de electropulido, tratamiento químico, granallado, etc.
Equipos de control remoto para descontaminación de superficie
Pinturas autopolables y procesos químicos
Servicios completos con personal propio

RESIDUOS RADIATIVOS

Sistemas de manipulación de R. R.
Sistemas de solidificación de resinas
Incineradores de R. R. (NUCLIN-NORSK HYDRO)
Predicción de rotura vainas combustible y composición de R. R. (programa ISOSCALE)
Técnicas de reducción de volumen de R. R.



NUCLIN es una empresa joven, con personal experimentado, que ofrece equipos, servicios y consulting a la industria nuclear en diversos campos, incluyendo la gestión y manipulación de Residuos Radiactivos y tóxicos, así como la descontaminación de componentes radiactivos.

NUCLIN, S. A. Castelló, 39 28001 Madrid
Tel. 91/431 04 93 Fax 275 98 96 Tlx. 22558

