

LA REVISTA DE LA
**COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**



AÑO VII – NUMERO 27/28 – JULIO / DICIEMBRE 2007



**50 ° ANIVERSARIO DEL
ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA**

ISSN 1666-1036

Guía para autores de artículos

Línea Editorial: Los artículos podrán ser originales o haber sido presentados en eventos científicos o en revistas ajenas al área nuclear que permitan su publicación con la sola mención de esa circunstancia, y estar dirigidos a la comprensión de un lector con formación científica o tecnológica, pero no necesariamente en el área temática del mismo.

Envío: Deberán enviarse por correo electrónico a la dirección revista@cnea.gov.ar.

Formato: Serán preparados con Word for Window® y la página será tamaño IRAM Carta (216 mm x 279 mm). Los márgenes serán: izquierdo y derecho 3 cm, superior e inferior 2,5 cm. El tipo de letra será Arial de 10 pt. No deberán sobrepasar las diez páginas.

Título: Constará de no más de diez palabras, debiendo dar indicación concisa del contenido y ser fácilmente identificable para su cita en bibliografías y publicaciones editadas por servicios de información. Podrá ser seguido por un subtítulo separado por dos puntos que contenga información complementaria. Se evitarán las abreviaturas, acrónimos, códigos, símbolos y fórmulas que no sean de uso común.

Datos del (los) autores:

Deben constar los apellidos y nombre(s) propio(s), usándose iniciales sólo en el caso de más de un nombre. Se indicará(n) además la(s) función(es) y/o puesto(s) de trabajo y el(los) organismo(s) a que pertenece(n).

Resúmenes de los artículos:

Cada artículo será precedido por un resumen del contenido, redactado en castellano e inglés, que sea autosuficiente, contenga la información básica y no supere las trescientas palabras, estructurado en no más de dos o tres párrafos. Se utilizarán verbos en voz activa y palabras significativas tomadas del texto que ayuden a la recuperación automática por ordenador. Conviene evitar términos infrecuentes, acrónimos, siglas, abreviaturas o símbolos, y en caso de que se utilicen deben definirse la primera vez que aparezcan en el resumen.

Texto Principal: Los artículos deben seguir un orden lógico y claro, debiéndose indicar la finalidad del trabajo así como su relación con otros anteriores. Las divisiones y subdivisiones se podrán destacar con títulos apropiados que podrán numerarse. Se utilizarán notaciones normalizadas para cada disciplina, como las establecidas por las normas IRAM u otros organismos de normalización. Las notas a pie de página sólo se incluirán en casos excepcionales para complementar la información o remitir a las referencias bibliográficas, pero no deben contenerlas.

Las figuras (fotografías, gráficos, diagramas, ilustraciones y mapas) deben numerarse secuencialmente en números arábigos y estar acompañadas por una leyenda explicativa. Las tablas también deben numerarse y tener títulos apropiados. Tanto las figuras como las tablas deben referenciarse en el texto. Su envío se hará en lo posible en formato jpg o bmp. Los aportes suministrados por otros deben ser claramente reconocidos. Los documentos citados en el texto principal se incluirán en una lista de referencias al final del artículo.

Referato: Serán considerados para su publicación por miembros del Comité Científico y, eventualmente, se consultará con especialistas del área temática correspondiente sobre su relevancia y originalidad.

Derechos de autor: Los trabajos publicados sólo podrán copiarse con el consentimiento del autor e indicación de su procedencia.

Erratas: Las correcciones a que hubiere lugar se publicarán en la edición posterior.

LA REVISTA DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA



AÑO VII – NÚMERO 27/28 – JULIO – DICIEMBRE 2007

editorial

El Comité Editorial se complace en presentar el número 27/28 de la Revista con el que completamos su séptimo año de existencia.

En e semestre al que corresponde este número se han producido dos hechos significativos que este Comité Editorial considera dignos de destacar.

El primero fue que el 29 de julio de 2007 se cumplió el quincuagésimo aniversario de la entrada en vigor del Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), uno de los más – sino el más – prestigioso de los organismos integrantes del Sistema de las Naciones Unidas, en cuya creación y posterior funcionamiento la Argentina, a través de la CNEA, ha tenido participación significativa; y el segundo la visita que realizara a instalaciones de la CNEA el Director General de ese organismo internacional, Dr. Mohamed ElBaradei.

Sobre el primero de ellos se incluye en el presente número un artículo que historia la creación y posterior desarrollo de esa organización internacional, preparado por un miembro de este Comité Editorial. Sobre el segundo se publica una nota informativa dando cuenta de los aspectos salientes de la visita.

La gestión y disposición de los desechos radiactivos, en especial de los de alta actividad, constituye una de las principales preocupaciones de la industria nuclear y de la opinión pública en general en esta época de plena reactivación de la actividad nuclear a nivel mundial y su eficaz solución constituye, a no dudarlo, una condición “sine qua non” para que esa reactivación pueda darse con toda la magnitud que los requerimientos energéticos y ambientales de la humanidad demandan. En tal sentido, resulta de máximo interés conocer cuales son las tendencias mundiales en la materia, en particular las que predominan en los principales actores en el campo nuclear. Por ello incluimos un interesante e informativo artículo sobre el tema – que debido a su longitud se publicará en dos entregas – escrito por una ex funcionaria de la CNEA – hoy retirada pero que continúa fuertemente vinculada a esa temática.

Precisamente en este reverdecir de la actividad nuclear, en particular en el campo electroenergético, resulta también fundamental aportar información a la opinión pública que desvirtúe los “truculentos” mitos que en relación con el infortunado accidente de la Central Nuclear de Chernóbil han circulado entre la opinión pública de prácticamente todos los países, debido en gran medida a la malintencionada “desinformación” propalada por pseudo ambientalistas claramente antinucleares. Por eso hemos considerado importante incluir en este número un artículo que desmitifica, sobre bases científicas e información responsable proporcionada por organismos competentes, las consecuencias – de todos modos muy infortunadas – de ese trágico evento. Su autor, un Investigador Emérito de la CNEA, plantea con solvencia las realidades en torno al hecho.

En diciembre de 1967 se inauguró el reactor de investigación y producción RA-3, destinado a cubrir la demanda de radioisótopos de uso médico, pero también implícitamente pensado para acrecentar la capacidad nacional en tecnología nuclear. “Aprender haciendo” fue el espíritu que guió su construcción. La experiencia adquirida permitió luego el diseño y construcción de otros reactores. Hoy, el RA-3 está en Ezeiza... pero vive también en Bariloche, Perú, Argelia, Egipto y Australia. Tres distinguidos profesionales de la Institución aunaron esfuerzos para, con la valiosa colaboración de un profesional ajeno a la actividad nuclear, resaltar el significado de este magno acontecimiento.

Como en números anteriores se incluyen las secciones “CNEA al Día” y “Reseñas Bibliográficas”.

Reiteramos una vez más la invitación a todos los integrantes del sector nuclear, con prescindencia del organismo al que pertenezcan, o que hayan pertenecido, estén o hayan estado vinculados al sector en cualquier circunstancia, que tengan trabajos que deseen difundir, a que los hagan llegar este Comité Editorial.



Fotos de tapa

Vistas de la sede del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en el Centro internacional de Viena, Austria.
Cortesía del citado Organismo

autoridades nacionales

Presidente de la Nación
Doctora Cristina E. Fernández de Kirchner

Ministro de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Arquitecto Julio Miguel De Vido

Secretario de Energía
Ingeniero Daniel Omar Cameron

autoridades institucionales

Presidente de la Comisión Nacional
de Energía Atómica
Licenciada Norma Luisa Boero

Vice-Presidente de la Comisión Nacional
de Energía Atómica
Ingeniero Mauricio Bisauta

Gerente General de la Comisión Nacional
de Energía Atómica
Doctor Carlos Rubén Calabrese

comité asesor

Doctor Carlos Aráoz
Doctor Jim Cronin
Doctor Juan Martín Maldacena
Doctor Renato Radicella

comité editorial

Ingeniero Pascual Franciso Aguirre
Licenciado Heriberto Boado Magan
Capitán de Navío (R) Roberto Mario Ornstein
Impresión: VCR. Impresores S.A.
Diseño de tapa: Stella Spurio
ISSN: 1666-1036

sumario

Editorial	3
50 Aniversario del OIEA	5
Vista del Director General del OIEA a instalaciones de la CNEA	9
Gestión final del combustible gastado y residuos de alta actividad: situación y tendencias en el mundo.	11
Chernóbil: hechos	23
A 40 años de la inauguración del RA-3: anécdotas, historias y algunas enseñanzas	30
CNEA al día, noticias institucionales	38
Reseñas Bibliográficas	42

Quincuagésimo aniversario del OIEA

ROBERTO MARIO ORNSTEIN – Gerencia de Relaciones Institucionales – Comisión Nacional de Energía Atómica

El 29 de julio de 2007 se cumplió el quincuagésimo aniversario de la entrada en vigor del Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), uno de los más – sino el más – prestigioso de los organismos integrantes del Sistema de las Naciones Unidas, en cuya creación y posterior funcionamiento la Argentina, a través de la CNEA, ha tenido participación significativa.

In July 29, 2007, the International Atomic Energy Agency (IAEA) Statute accomplish the 50th anniversary of its entry in to force. Argentina, through his Atomic Energy National Commission, played a significant role in his creation and subsequent performance.

En los años posteriores a la segunda guerra mundial la energía atómica fue simultáneamente objeto de las más altas esperanzas y de los más profundos temores de la humanidad. Tras la primera conmoción causada por la comprobación de su potencia destructora, el mundo comenzó a alentar la esperanza de los grandes beneficios que su uso podía también proporcionar. A medida que se fueron levantando los velos del secreto y haciéndose evidentes en forma incontrovertible cuan grandes eran las oportunidades para el libre intercambio de información científica y de procedimientos técnicos en una esfera de conocimientos tan vasta, se fue también haciendo cada vez más evidente que la utilización para fines pacíficos de la energía nuclear exigía un alto grado de cooperación internacional y que, al mismo tiempo, había que evitar el peligro de que esa aplicación pacífica contribuyese a aumentar el potencial bélico de los Estados.

El Organismo Internacional de Energía Atómica fue el intento exitoso que se hizo en el plano mundial para afrontar el problema. Todo comenzó el 8 de diciembre de 1953 con el célebre discurso del Presidente Eisenhower ante la Asamblea General de las Naciones Unidas proponiendo la creación de un organismo, de carácter internacional, consagrado al desarrollo y al control de la utilización pacífica de la energía nuclear.

Con esa propuesta, la comunidad internacional se vio confrontada por tercera vez a un proyecto similar: los dos primeros, uno también norteamericano de 1946, y el otro soviético del año siguiente, acabaron ambos en un atascadero; uno por volverle la espalda al control y pretender delegar en una autoridad internacional todas las etapas significativas de la actividad nuclear, lo que hubiese conducido a una pérdida de soberanía que muchos Estados no estaban dispuestos a aceptar; el otro por el contrario, por reposar únicamente en el control internacional de dicha actividad que quedaría bajo la exclusiva competencia de los Estados, lo que se oponía a la fuerte corriente existente en esos años favorable a la gestión internacional de la energía nuclear. La propuesta de Eisenhower ameritó que en 1954 la Asamblea General adoptase por unanimidad la decisión de instar al establecimiento de ese organismo.

La preparación del Estatuto del nuevo organismo

– algo así como su acta de nacimiento – demandó tres largos años: de 1954 a 1956. A las consultas diplomáticas se sucedieron: en Washington, en febrero de 1956, una Conferencia Preparatoria del Estatuto integrada por los doce países principalmente interesados y luego en Nueva York, en la Sede de las Naciones Unidas, en octubre del mismo año, una Conferencia Plenaria sobre el Estatuto que reunió a ochenta y un países, entre ellos la Argentina.

Aquellos tres años fueron un período feliz para la energía nuclear, marcado por el abandono de la política del secreto seguida desde la guerra, por la puesta en marcha de la primera planta de propulsión nuclear y de la primera central nuclear de potencia, y por el inmenso éxito de la Conferencia Internacional de las Naciones Unidas sobre la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos, celebrada en Ginebra en 1955, precedida por el anuncio del primer programa nacional de electrificación nuclear.

El Estatuto fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en forma unánime, procediéndose a la firma del mismo el 26 de ese mes por parte de sesenta y nueve Estados, entre ellos nuestro país.

Conjuntamente con la apertura a la firma de Estatuto, la Conferencia Plenaria procedió a establecer una Comisión Preparatoria del Organismo constituida por dieciocho Estados: los doce que habían participado en la Comisión Preparatoria del Estatuto y seis más, por elección, siendo la Argentina quien obtuvo el primer puesto, al ser votada favorablemente por setenta y nueve sobre un total de ochenta votantes. Cabe mencionar que el Delegado Argentino ante la Conferencia sobre el Estatuto del Organismo – quien posteriormente firmara el mismo en representación del Gobierno Argentino – y el Presidente de la Delegación Argentina ante la Comisión Preparatoria del Organismo fue el Contralmirante Oscar Armando Quihillalt, en esa época y por casi dieciocho años Presidente de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

El Estatuto entró en vigencia el 29 de julio de 1957 al ser ratificado por los primeros dieciocho Estados, cumpliéndose así las condiciones establecidas en él. Nuestro país procedió a su ratificación muy poco después, el 3 de octubre, por lo que a todos los efectos se lo

considera como miembro fundador del Organismo.



Antigua sede del OIEA en Viena

LOS OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales del OIEA, definidos en su Estatuto, son acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo, y asegurar, en la medida de lo posible, que la asistencia que preste o que se preste a petición suya, o bajo su dirección y control, no sea utilizada con fines bélicos. Es así que el OIEA cumple dos funciones fundamentales:

- Promover la utilización pacífica de la energía nuclear.
- Controlar que la misma no sea empleada con fines bélicos.

La primera de esas funciones se traduce en actividades de asistencia y cooperación técnica que abarcan la elaboración de normas de seguridad y documentos técnicos para la gestión segura de los diversos aspectos del quehacer nuclear; el patrocinio de seminarios, simposios, talleres y reuniones científicas de intercambio de información; la formación de recursos humanos mediante cursos, visitas científicas y becas; el desarrollo de proyectos de cooperación bilaterales, regionales e interregionales; y la divulgación de información técnica.

La segunda función implica el ejercicio de actividades de salvaguardias, que consisten en inspecciones y diversas formas de control internacional a fin de garantizar el uso exclusivamente pacífico de los materiales nucleares susceptibles de ser empleados en la fabricación de artefactos nucleares explosivos.

Esta última tarea le fue asignada, tanto por el Estatuto como por sucesivos instrumentos internacionales tendientes a evitar la proliferación del arsenal nuclear: el "Tratado de no proliferación de las armas nucleares" (TNP), y los acuerdos regionales para crear zonas libres de armas nucleares: el "Tratado de

Tlatelolco" en América Latina, el de Rarotonga en el Pacífico Sur, el de Pelindaba en África y el de Bangkok en el Sudeste Asiático.

A estas dos funciones estatutarias fundamentales se ha agregado, luego del accidente de Chernobil, una tercera también importantísima – derivada de la primera – referida al desarrollo y promoción de la normativa necesaria para garantizar la seguridad operativa de las instalaciones nucleares, siendo estos tres los "pilares" en que se apoya en la actualidad el accionar del Organismo.



Primeras reuniones anuales de la Conferencia General del OIEA
Palacio Hoffbourg - Viena

LOS CICLOS DE SU HISTORIA

Los primeros años de la existencia del Organismo, bajo la dirección de un veterano parlamentario norteamericano, el señor Stirling Cole, fueron difíciles, sometido a los azares de la guerra fría. El horizonte parecía cerrado e inicialmente limitado a concentrar sus actividades en la promoción de la introducción en los países en desarrollo del amplio campo de aplicación de los radioisótopos, en las cuestiones regulatorias y en la organización de conferencias y seminarios en los que especialistas del mundo entero podían intercambiar sus conocimientos.



Stirling Cole – Primer Director General (1957 – 1961)

Bajo su siguiente Director General, el físico sueco Sivgwd Eklund, quien ejerció esas funciones por un lapso de veinte años (desde 1961 a 1981), el horizonte se despejó bruscamente cuando la crisis de los misiles, en el otoño de 1962, en la que el mundo pareció rozar el conflicto nuclear, fue seguida por una distensión que se materializó, entre otras cosas, en la desaparición de los obstáculos a la instauración del sistema de salvaguardias internacionales, que paulatinamente fuera confiado al OIEA.

Durante ese mismo período y en tanto se ejecutaban – con éxitos pero también dificultades – los programas de electrificación nuclear de los países desarrollados o en vías de rápida industrialización, las actividades de asistencia y cooperación técnicas se intensificaron considerablemente, llegando a abarcar la mayoría de los campos de la ciencia y la tecnología nucleares.



Sivgwd Eklund – Director General (1961-1981)

Quien lo siguió, el diplomático sueco Hans Blix, ejerció sus funciones durante dieciséis años (hasta el 30 de noviembre de 1997). Durante su gestión, a más de mantenerse y perfeccionarse los servicios de prestación de asistencia y cooperación técnicas, que reconocen su punto más álgido en la puesta en acción con rapidez y eficacia del potencial técnico del Organismo en ocasión del accidente de Chernobil, se incrementó la actividad en el tema capital de la seguridad de los reactores nucleares.



Hans Blix – Director General (1981-1997)

Finalmente, bajo el actual Director General, el diplomático egipcio Mohamed ElBaradei, se produjo un notable desarrollo y consolidación del sistema de salvaguardias, iniciado por su antecesor, concretado en el fortalecimiento de su eficacia y en el mejoramiento de su eficiencia, y se afrontaron situaciones políticas riesgosas para el prestigio del Organismo en relación con la presunta o real existencia de programas nucleares militares clandestinos en varios Estados Miembros.



Mohamed ElBaradei – Actual Director General (1997)

LA ARGENTINA Y EL ORGANISMO

Nuestro país ha mantenido durante esos cincuenta años una intensa participación en las actividades del Organismo relacionadas con sus funciones fundamentales ya enunciadas, habiendo recibido y aportado importantes contribuciones en materia de cooperación científico-tecnológica y brindado a la comunidad internacional transparencia y garantías suficientes sobre el carácter exclusivamente pacífico de sus programas nucleares, a través de la aplicación de las salvaguardias del Organismo a sus actividades en este campo.

También ha actuado activamente en los dos órganos rectores de conducción política del OIEA: la Conferencia General y la Junta de Gobernadores, en los cuales ha participado en forma ininterrumpida desde la creación del Organismo, habiendo desempeñado la Presidencia de la primera un año crítico (1962) y siendo uno de los pocos Estados Miembros que ejerciera tres veces la Presidencia de la segunda (1960–1961, 1975–1976 y 1992–1993).

Los expertos argentinos son regularmente invitados a participar en los múltiples eventos científicos y técnicos organizados por el Organismo, que además los requiere frecuentemente para la prestación de asesoramiento y asistencia técnica a otros Estados Miembros. Igualmente el Organismo demanda en forma frecuente la formación de recursos humanos de esos Estados en nuestros organismos nucleares y en número

creciente en los Institutos Universitarios de la CNEA (Balseiro, Sabato y Beninson), a través del otorgamiento de becas y pasantías a desarrollarse en los mismos.

La cooperación técnica entre el Organismo y la República Argentina abarca en promedio en la actualidad del orden de una media docena de proyectos bianuales, además de la participación argentina en más de una docena de proyectos regionales e interregionales y en diversos programas de investigación coordinados, así como en numerosos contratos de investigación individuales con nuestros científicos y técnicos, lo que cubre una amplia gama de aplicaciones en el campo

nuclear.

El OIEA, venciendo adversidades y restricciones, ha sabido construir, en sus primeros cincuenta años, a través de una conspicua labor, una bien ganada imagen de responsabilidad e idoneidad de la que dan claro testimonio sus actuales 144 Estados Miembros. Imagen que, a no dudarlo, continuará consolidando en el futuro en beneficio de la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero, tal como reza el objetivo establecido en su Estatuto.

Fotografías cortesía del OIEA



Sede actual del OIEA - Centro Internacional de Viena

**ASOCIACION ARGENTINA DE
TECNOLOGIA NUCLEAR**

**35 años apoyando la
actividad nuclear para una mejor
calidad de vida**

Av. Callao 384 1° 3 (C1022AAQ) C. A. de Buenos Aires
Tel: 011-4372-2013 www.aatn.org.ar aatnmail@gmail.com

Visita del Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica, Dr. Mohamed ElBaradei, a instalaciones de la CNEA



El Dr. Mohamed ElBaradei, Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), realizó una visita oficial a la Argentina entre el 27 de noviembre y el 2 de diciembre de 2007, en cuyo curso visitó instalaciones de la CNEA y recibió sendas distinciones como “Doctor Honoris Causa” por parte de las Universidades Nacionales de Buenos Aires y de Cuyo.

El día 29 de noviembre el Dr. ElBaradei recorrió las instalaciones de la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear (FCDN), emprendimiento conjunto de la CNEA y la Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN). Fue recibido por el Vicepresidente de la CNEA, Ing. Carlos Rey, y acompañado por la Embajadora Elsa Rosa Kelly, Directora de Seguridad Internacional, Asuntos Nucleares y Espaciales del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, la Dra. Berta Roth, Directora del Instituto de Oncología “Ángel Roffo”, el Ing. Enrique Noya, Presidente de la FUESMEN, y el Ing. Diego Passadore, Subgerente de la FCDN. En su recorrida por el Centro, el Dr. ElBaradei elogió la tecnología de punta con que está dotado.



Al término de la visita el Dr. ElBaradei se trasladó al Auditorium del Instituto de Oncología “Ángel Roffo”, en donde fue recibido por el Lic. Heriberto Boado Magan, Gerente de Relaciones Institucionales de la CNEA, y por el Dr. Raúl Racana, Presidente de la Autoridad Regulatoria Nuclear, departiendo con representantes de las empresas e instituciones del sector nuclear argentino: Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA), CONUAR S.A., FAE S.A., DIOXITEK S.A., ENSI S.E., P.T.C. S.A. e INVAP S.E.; de las Fundaciones Escuela de Medicina Nuclear y Centro de Diagnóstico Nuclear, de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear (AATN) y de la Sociedad Argentina de Radioprotección asistentes al acto, destacando la importancia de la energía nuclear y de sus aplicaciones pacíficas en la satisfacción de las necesidades de la sociedad y el mejoramiento de su calidad de vida. Finalmente, el Dr. ElBaradei felicitó a las autoridades de la CNEA y destacó la calidad de sus profesionales y el nivel de calidad de sus proyectos, así como el rol protagónico de la Institución en la capacitación científico-tecnológica de recursos humanos que realiza en forma conjunta con el OIEA.



El día 30 de noviembre el Dr. ElBaradei se trasladó a San Carlos de Bariloche donde realizó una visita al Centro Atómico, siendo recibido por el Ing. Carlos Rey, Vicepresidente de la CNEA, y por el Dr. Fernando Quintana, a cargo del Centro, recorriendo el reactor de investigación RA-6, los laboratorios de investigación y las aulas y la Biblioteca “Leo Falnicov” del Instituto Balseiro.

Al término de la recorrida, en el salón de Actos del Centro Atómico, el Vicerrector de la Universidad Nacional de Cuyo, Ing. Arturo Somoza, acompañado por la Emb. Kelly, hizo entrega al Dr. ElBaradei del título “Doctor Honoris Causa” otorgado por esa Universidad.



Esta fue la segunda distinción de esa naturaleza que recibiera el Dr. ElBaradei en su visita a la Argentina; la primera le fue entregada el 28 de noviembre en el Salón Rojo de la Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires, donde recibió como reconocimiento a su trayectoria el título "Doctor Honoris causa" otorgado por esa Universidad. La Emb. Kelly tuvo a su cargo la



presentación y el saludo académico al Dr. ElBaradei. En representación del Rector de la Universidad, el Dr. Hugo Sirkin, Secretario de Ciencia y Tecnología de la misma, entregó al Dr. ElBaradei el correspondiente diploma. En el marco de la ceremonia el Dr. ElBaradei disertó sobre la "Seguridad global en un mundo en transformación".

Dr. Mohamed ElBaradei

El Dr. Mohamed ElBaradei nació en El Cairo, Egipto, en 1942. En 1962 recibió su título de licenciado en Derecho en la Universidad de El Cairo y en 1974 se doctoró en Derecho Internacional en la Universidad de Nueva York.

Comenzó su carrera profesional en el servicio diplomático egipcio en 1964, como encargado de asuntos políticos, jurídicos y de control de armas, participando en las actividades de la Asamblea General y en el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, la Conferencia de Desarme, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, la Organización Internacional del Trabajo, la Organización Mundial de la Salud, la Comisión de Derechos Humanos, la Organización de la Unidad Africana y la Liga de los Estados Árabes, entre otras organizaciones internacionales. Entre 1974 y 1978 el Dr. ElBaradei fue asistente especial del Ministro de Relaciones Exteriores de Egipto, integrando diversas delegaciones bilaterales a nivel presidencial y ministerial.

En 1980 se incorporó a la Organización de las Naciones Unidas como ejecutivo principal del Programa de Derecho Internacional del Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones. Entre 1981 y 1987 fue profesor adjunto de Derecho Internacional en la Facultad de Derecho de la Universidad de Nueva York.

A partir de 1984, el Dr. ElBaradei fue funcionario superior de la Secretaría del OIEA, donde ocupó varios cargos de alto nivel, entre ellos el de Asesor Jurídico del Organismo y, posteriormente, el de Director General Asistente para Relaciones Exteriores.

El 1 de diciembre de 1997, el Dr. ElBaradei asumió por primera vez el cargo de Director General del OIEA y en septiembre del 2005 fue reelegido para un tercer mandato.

En octubre de 2005, el Comité Noruego del Premio Nóbel le otorgó al Dr. ElBaradei y al OIEA en conjunto, el Premio Nóbel de la Paz en reconocimiento por "los esfuerzos por evitar que la energía nuclear se utilice con fines militares y garantizar que la energía nuclear con fines pacíficos se utilice de la manera más segura posible".

Gestión final del combustible gastado y residuos de alta actividad: situación y tendencias en el mundo.

MARTA H. DE PAHISSA – Ex Jefe del Departamento de Tecnología de Procesos – Programa de Gestión de Residuos Radiactivos – Comisión Nacional de Energía Atómica

La generación nucleoelectrónica, junto con el total de las demás disciplinas nucleares, producen residuos radiactivos que, a diferencia de la gran mayoría de las actividades humanas, son escrupulosamente gestionados para aislarlos de la biosfera el tiempo necesario para que su radiactividad haya decaído a niveles tales que su eventual reintegro a la biosfera no represente ningún peligro al hombre y su entorno.

En este artículo se describe la gestión de los elementos combustibles gastados de las centrales nucleares y de los residuos de alta actividad que de ellos puedan derivarse, por ser el mayor desafío de la gestión de los residuos radiactivos.

Se explican en forma sucinta las tecnologías de acondicionamiento y se analizan diversas opciones, tales como la aplicación de nuevas tecnologías de separación y transmutación, la decisión de un repositorio regional o internacional, el cambio de diseño del repositorio hacia la recuperabilidad y su influencia en el desarrollo del sistema de disposición geológica. Se discuten así mismo, las diferentes tendencias y sus argumentaciones.

Sobre la base de esta información, en un próximo artículo se presentará el estado del arte a nivel mundial vinculado a la disposición geológica del combustible gastado y de los productos vítreos provenientes del reprocesamiento del combustible gastado.

Geological disposal of spent nuclear fuel and high level waste from reprocessing, properly conditioned, is described. This issue is a major challenge related to radioactive waste management.

Several options are analysed, such as application of separation and transmutation to high level waste before final disposal; need of multinational repositories; a phased approach to deep geological disposal and long term surface storage.

Bearing in mind this information, the next article will report the state of art in the world.

GENERALIDADES

Los residuos de alta actividad se caracterizan por contener una gran concentración de radionucleídos, radionucleídos de período largo y una alta potencia térmica. Se producen dentro de los elementos combustibles durante la operación de los reactores nucleares, como consecuencia de los procesos de fisión y de captura neutrónica. Como resultado, se generan gran cantidad de energía, productos de fisión, y elementos transuránicos, de los cuales el plutonio es el mayoritario y el americio, el curio y el neptunio los minoritarios. Además, por captura neutrónica de las vainas de zircaloy, del acero inoxidable, de los componentes estructurales asociados, de las impurezas de todos estos materiales y del óxido de uranio de las pastillas combustibles, se originan productos de activación tales como Zr^{93} , Nb^{94} , C^{14} , Ni^{59} y Co^{60} .

El combustible nuclear gastado (ECG), también llamado irradiado o quemado, una vez retirado del reactor, constituye por consiguiente, una mezcla compleja de isótopos estables y radiactivos. Su radiactividad y por lo tanto su emisión de calor irán disminuyendo con el tiempo, mientras su complejidad química permanecerá prácticamente constante.

El análisis de la composición química del combustible gastado es muy difícil y complejo debido a su

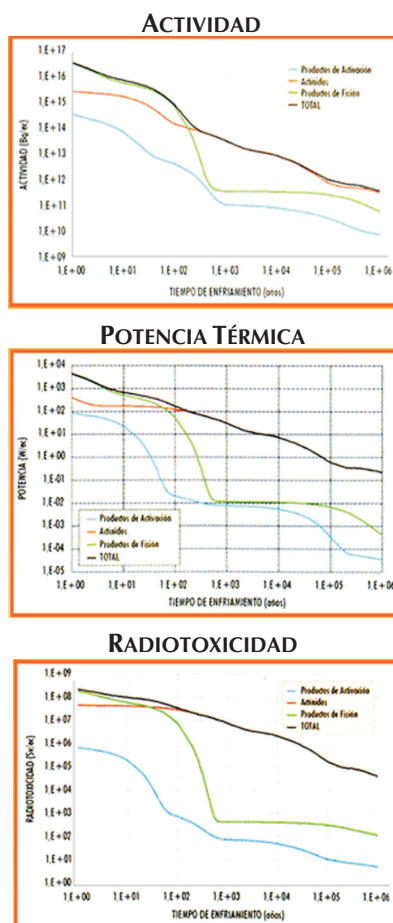


Fig 1

en función
del tiempo

alta concentración de actividad y a la gran variedad de elementos químicos presentes. Sin embargo, puede calcularse su composición y evolución química con el tiempo mediante modelos matemáticos (por ej. el código Origen). En términos generales, una tonelada de uranio inicial (enriquecido al 3,5% en U^{235}) y con un grado de quemado de 33000 MWD/tU, irradiado en un reactor de agua a presión, presentaría aproximadamente la siguiente composición a los tres años de su descarga del reactor: 956 Kg de uranio, 9,7 Kg de plutonio, 0,78 Kg de actínidos minoritarios (neptunio, americio y curio), 34,3 Kg de productos de fisión y 0,180 g de productos de activación.

Se presenta en la fig.1 en función del tiempo de enfriamiento en años para el combustible gastado: la actividad (Bq/ec), la potencia térmica (W/ec) y la radiotoxicidad (Sv/ec).

Actividad: La actividad irá disminuyendo con el tiempo. La actividad del ECG es 700 veces menor a los 500 años de enfriamiento. Durante los primeros 200 años, la radiactividad es debida principalmente a los productos de fisión que son emisores beta y gamma (Cs^{137} , Sr^{90}). Después, los actínidos, fundamentalmente emisores alfa (Am^{241} , Pu^{240} , Pu^{239}), contribuirán a la actividad del combustible, y pasados 100000 años, la actividad será casi constante y debida al Pu, Tc, I, Cs y U.

Potencia térmica: La emisión de calor proviene principalmente del Sr^{90} y Cs^{137} . El calor residual del combustible gastado varía desde 10000 W/tU al año de su descarga del reactor, hasta 65 W/tU a los 1000 años. Los actínidos contribuyen (Am^{241}) en el calor residual a partir de los 300 años y el Pu^{239} y el Pu^{240} entre los 1000 y 100000 años.

Radiotoxicidad: Para cada radionucleído en particular, su radiotoxicidad se puede calcular mediante el producto de su inventario radiactivo (Bq/tU) en el combustible gastado, por el factor de paso a dosis (Sv/Bq). Los elementos que más contribuyen a la radiotoxicidad del combustible gastado son los actínidos, entre ellos los isótopos del plutonio, americio, curio y neptunio.

Por lo tanto, los elementos combustibles una vez que alcanzan el grado de quemado correspondiente, son removidos del núcleo del reactor y almacenados temporalmente dentro de piletas con agua tratada para reducir la corrosión (almacenamiento húmedo) para su decaimiento y su consecuente pérdida de calor. Algunos países han adoptado el almacenamiento temporal en seco de los ECG, después de enfriarlos por vía húmeda durante un cierto tiempo. El almacenamiento en seco emplea contenedores metálicos blindados, silos o bóvedas de hormigón enfriados por circulación forzada de aire o por convección natural.

La etapa siguiente al almacenamiento temporal del elemento combustible gastado es decidir la estrategia a seguir, teniendo las siguientes diferentes opciones:

- **Reprocesamiento:** como el ECG es un recurso energético potencial, una opción es

reprocesarlo para extraer los materiales fisiles generados durante la operación del reactor para ser reciclados en los reactores en forma de nuevos elementos combustibles. Los residuos resultantes son principalmente los residuos líquidos de alta actividad (RLAA), (ciclo de combustible cerrado).

- **Disposición final directa:** Cuando el combustible no va a ser reprocesado se lo declara en un todo como residuo de alta actividad (RAA), (ciclo del combustible abierto).
- **Separación y transmutación (S&T):** Consiste en la separación de actínidos y productos de fisión de período largo para luego ser transmutados en radionucleídos de períodos más cortos o en núclidos estables. Es complementaria al reprocesamiento, (ciclo de combustible cerrado avanzado) (fig.2).

La decisión diferida involucra el almacenamiento temporal del elemento combustible gastado hasta la toma de decisión.

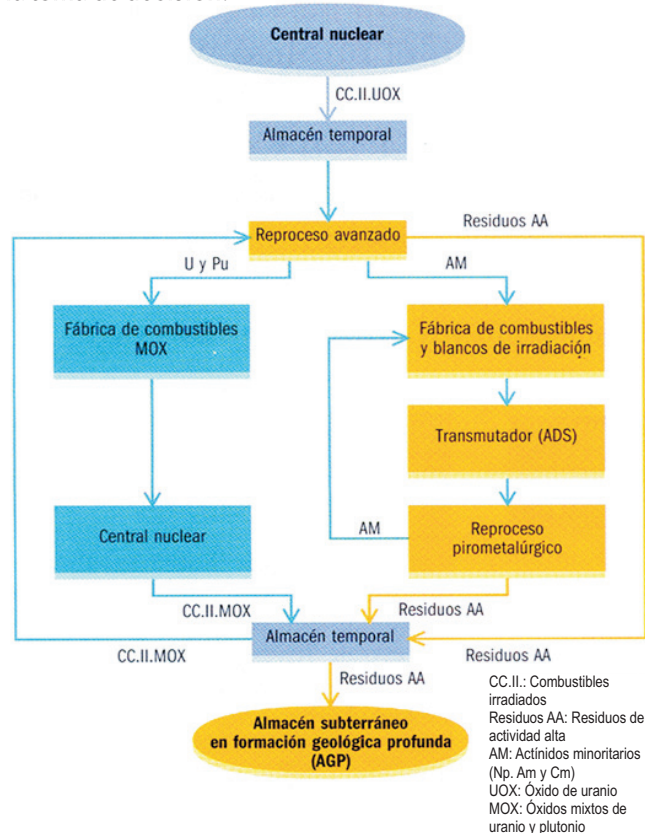


Fig. 2: CICLO CERRADO AVANZADO

Gestión

Se define como gestión al conjunto de actividades para aislar los residuos radiactivos de la biosfera el tiempo necesario para que la radiactividad haya decaído a un nivel tal que su eventual reingreso a la misma no implique riesgos para el hombre y su ambiente.

Toda gestión debe cumplir los principios de protección radiológica y los principios fundamentales de la gestión de residuos radiactivos. Los criterios de seguridad requieren la aplicación de barreras múltiples, redundantes e independientes, interpuestas entre los residuos radiactivos y el ambiente ocupado por el hombre. La primera barrera es el residuo propiamente dicho inmovilizado en una matriz adecuada (barrera físico – química) y su contenedor asociado; la segunda es la barrera de ingeniería que está constituida por los componentes del repositorio, principalmente los materiales de relleno y sellado, y la tercera es la barrera natural que es el medio hospedante donde se emplaza el repositorio y el medio geológico circundante (fig.3).

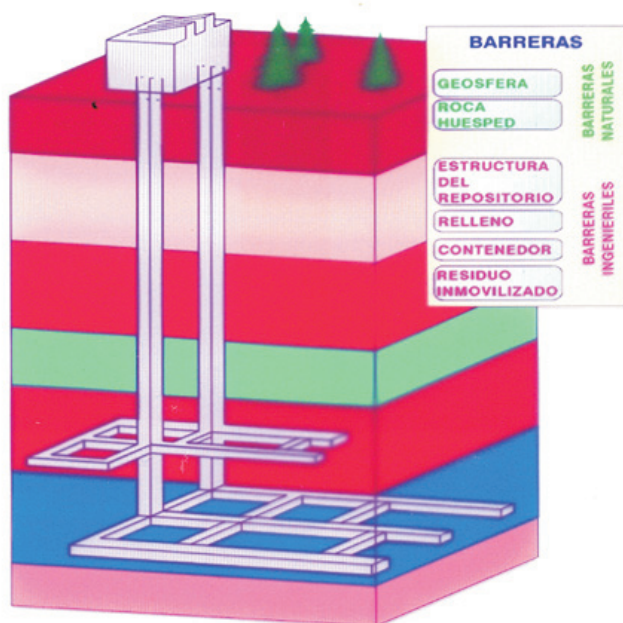


Fig. 3: CONCEPTO MULTIBARRERA

Una vez decidida la estrategia es necesario gestionar los RLAA, los ECG si han sido declarados residuos (RAA), y si está vigente el ciclo cerrado avanzado se deberán gestionar los RAA generados durante el proceso de S&T.

Gestión de los residuos líquidos de alta actividad: Como ya se mencionó los residuos líquidos de alta actividad (RLAA) provienen del reprocesamiento del elemento combustible gastado. El método más común empleado en el reprocesamiento consiste en el corte y la disolución del combustible en solución ácida y la separación del plutonio y el uranio de esta solución por extracción con un solvente orgánico (proceso PUREX). Del primer ciclo de extracción se obtienen los RLAA que contienen la mayor parte de los productos de fisión, trazas de plutonio y uranio no extraídos y otros actínidos presentes en el ECG, además de una variedad de productos de corrosión activados.

La Gestión de los RLAA consiste en un conjunto de actividades administrativas y operativas constituido

por las siguientes etapas:

Pre-tratamiento: Importante para minimizar los residuos generados. Comprende la colección, caracterización, registro, clasificación, ajuste químico y descontaminación.

Tratamiento: Optimiza la seguridad y la economía de la gestión para obtener un residuo menos dispersable y más estable. Para los residuos líquidos de alta actividad se aplica la concentración por evaporación. El concentrado se colecta en tanques donde es refrigerado y agitado.

Acondicionamiento: Se transforma el residuo en una forma sólida mediante su inmovilización en una matriz adecuada para los RAA. Entre las diferentes matrices estudiadas, el vidrio borosilicato es el más empleado por su alta resistencia a la radiación, por su estabilidad mecánica y térmica y por su baja lixiviación y volatilización, así como por incluir en su estructura una gran variedad de sustancias. Existen diversos procesos operativos destinados a la conversión de los RLAA en un producto vitrificado, tales como el AVM (Atelier de Vitrification Marcoule) desarrollado en Francia, el horno cerámico, el proceso del crisol frío, etc. El proceso Synroc, desarrollado en Australia, en lugar de incorporar los residuos en una matriz vítrea, éstos son transformados en una roca sintética elegida debido a su estabilidad geoquímica.

La calidad del producto final deberá garantizar su estabilidad a largo plazo en el repositorio, para asegurar durante el período de confinamiento que los componentes radiactivos decaigan a niveles aceptables. La cápsula conteniendo el producto vítreo debe proporcionar la resistencia mecánica para soportar el transporte, la manipulación y las condiciones existentes durante el almacenamiento temporal y la disposición final. También debe mantener la integridad durante el plazo exigido, para que la actividad haya decaído a niveles tales que la pérdida de esta barrera no afecte el comportamiento del sistema global de disposición final.

Gestión del combustible gastado: Si el ECG no reprocesado es declarado residuo, se lo gestiona como residuo de alta actividad sólido que incluye algunos productos de fisión volátiles. La preparación del ECG para su acondicionamiento puede involucrar las siguientes alternativas:

Las barras de combustibles no se alteran; las barras de combustibles se modifican mecánicamente (desgasificado, cortado o plegado) o se modifican mecánica y químicamente (por ejemplo, vitrificación después de una disolución). Según el proceso seleccionado pueden originarse diferentes cantidades de residuos secundarios, los cuales deben ser también gestionados. De las opciones consideradas hoy las más aceptadas son las dos primeras. Luego de la preparación se procede al acondicionamiento que consiste en ubicar el elemento combustible dentro de un contenedor apropiado (fig.4).

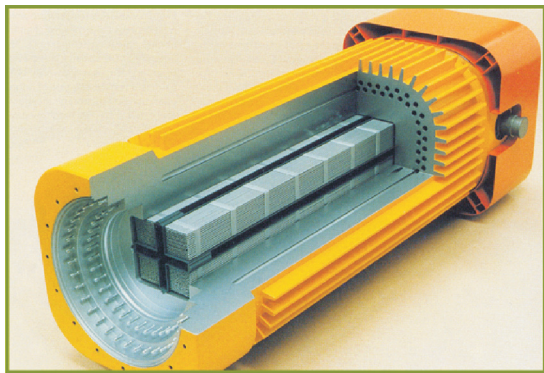


Fig. 4: CASTOR

CONTENDOR PARA TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO TEMPORAL

En resumen, el producto acondicionado está compuesto principalmente por el elemento combustible gastado consolidado o no consolidado, los componentes estructurales asociados (si están presentes) y el contenedor y sus estructuras internas para el posicionamiento del residuo y para la transferencia de calor a la superficie del contenedor. Puede ser necesario incluir en ciertos casos un absorbedor de neutrones para evitar la criticidad. Se han estudiado metales y aleaciones para su fabricación. La selección del material está determinada por la formación geológica, el medio geoquímico y las temperaturas y presiones prevalecientes, las cuales determinarán los diferentes mecanismos de corrosión.

Los productos vítreos y los combustibles gastados adecuadamente acondicionados, deben satisfacer los criterios de aceptación relevantes para su transporte, almacenamiento temporal y disposición final en un repositorio geológico profundo.

Independientemente del sistema que se adopte (abierto o cerrado) y del desarrollo de nuevas tecnologías innovadoras, será necesario disponer de un repositorio geológico profundo para la disposición definitiva de los RAA vitrificados y/o para los elementos combustibles quemados acondicionados, así como para residuos de baja y media actividad de período largo, cuando corresponda. Esta es la estrategia adoptada por consenso internacional.

DISPOSICIÓN GEOLÓGICA PROFUNDA (RGP)

La disposición geológica profunda se lleva a cabo en instalaciones excavadas a varios centenares de metros de profundidad (de 300 a 1000 m) en formaciones geológicas estables con gran capacidad de confinamiento, tales como formaciones graníticas, volcánicas, arcillosas o salinas.

Los criterios de seguridad requieren la demostración del funcionamiento adecuado a largo plazo de un repositorio geológico profundo. Es un proceso complejo que permite un análisis del conocimiento adquirido sobre el sistema de disposición

geológica y una cuantificación de su impacto a la biosfera y al hombre; es un elemento clave para el licenciamiento de la instalación y su aceptación por los tecnólogos y la sociedad.

Para evaluar la seguridad del funcionamiento de un RGP a través del tiempo se requieren principalmente las siguientes herramientas:

- Laboratorios convencionales, laboratorios radioquímicos y celdas calientes que permitan investigar y obtener datos, en pequeña escala, con muestras no radiactivas y radiactivas respectivamente.
- Laboratorios subterráneos, que son instalaciones de investigación ubicadas en la formación geológica en estudio, con características y profundidades similares a las de un repositorio, que permiten obtener datos a escala real (excepto en el tiempo), sobre el comportamiento de los diversos componentes y sus interacciones, así como también la viabilidad constructiva y operativa y caracterizar con mayor detalle el emplazamiento propiamente dicho (fig. 5). La mayor parte de estos laboratorios están ubicados en Europa: por ej., ASPO (granito) en Suecia; GRIMSEL (granito) y Mt. TERRI (arcilla) en Suiza; HADES (arcilla) en Bélgica; ASSE (sal) en Alemania; BURE (arcilla) en Francia y OLKILUOTO (granito) en Finlandia. En Estados Unidos en un túnel exploratorio en YUCCA MOUNTAIN (formación volcánica) y en Canadá el URL (roca plutónica). En Japón también existen laboratorios subterráneos.
- Análogos naturales y arqueológicos que permiten prever fenómenos que podrán ocurrir en el RGP en el largo plazo y que han ocurrido millones de años atrás en la naturaleza, por ejemplo los reactores naturales de Oklo, en Gabón, África, producidos por un yacimiento excepcionalmente rico en uranio, representan el análogo natural del combustible gastado; piezas metálicas y cerámicas que se han extraído en excavaciones después de miles de años y vidrios encontrados en el fondo de los mares a grandes profundidades donde el análisis de sus características y sus patinas permiten determinar su comportamiento a través del tiempo en esos medios.
- El empleo de modelos que requieren, en primer lugar, elaborar una interpretación conceptual de la estructura del sistema y de los mecanismos que controlan el comportamiento de sus distintos componentes así como su evolución futura. Sobre dicha interpretación se desarrolla el sistema matemático que la representa y se resuelven las ecuaciones proporcionando los valores numéricos que se necesitan y la evolución de los procesos en los períodos requeridos.



Fig. 5: HADES – LABORATORIO SUBTERRANEO DE MOL (BELGICA)

Predicción de como funcionaría un sistema de disposición geológica en el largo plazo

Como ya se mencionó, la evaluación de la seguridad del sistema global de disposición final es una actividad clave en la gestión de los residuos de alta actividad y la del combustible gastado cuando se lo ha declarado residuo, dado que será el elemento integrador de los conocimientos, las tecnologías y los diseños para demostrar a la sociedad la seguridad y la viabilidad de esta opción de gestión. Es un proceso iterativo que, como se dijo, va integrando el conocimiento adquirido en la investigación y desarrollo sobre el comportamiento de los componentes del sistema de disposición final, sus interacciones y las modificaciones y optimizaciones del diseño, produciendo, a través de sucesivos análisis, estimaciones del funcionamiento a largo plazo cada vez más precisas y fiables.

Se describe seguidamente, en forma resumida e idealizada, cómo funcionaría un RGP, donde las diferentes etapas muestran los eventos y procesos en los diversos períodos de tiempo.

Como ejemplo, se considera el elemento combustible gastado adecuadamente acondicionado (barrera físico-química) y su contenedor asociado de acero al carbono, ubicado en un repositorio geológico profundo, donde las barreras de ingeniería están constituidas principalmente por bentonita compactada que rodea al contenedor, los materiales de relleno como bentonita y roca granulada, tapones de hormigón en diversos sectores del sistema de disposición final y donde la barrera natural es una formación granítica.

El ejemplo abarca las siguientes etapas: inicial; excavación y construcción; operación; pos – clausura (hasta 1000 años); a largo plazo (después de los 1000 años) e interacción entre los radionucleídos y la biosfera/geosfera.

Inicial (~20 años): Comprende la elección de una formación geológica con adecuadas características hidráulicas, mecánicas, geoquímicas, estructurales, de estabilidad, etc. El agua subterránea tiene un rol muy importante, ya que es el principal vehículo de los radionucleídos que eventualmente puedan liberarse del

campo próximo. Sus características son relevantes para evaluar la seguridad de un repositorio. El agua subterránea, a medida que vaya profundizándose en el medio geológico, irá cediendo oxígeno y se irá saturando en las sales más solubles y elementos traza asociados. Cuando alcance la zona del repositorio, transcurridos miles de años, será reductora con una temperatura entre 20 y 30 °C y de composición bicarbonatada sódica. Estará sometida a un campo tensional derivado de la historia geológica del emplazamiento, con características hidrogeoquímicas estables.

Excavación y construcción (~5–10 años): La excavación generará una perturbación que modificará el régimen hidráulico, las propiedades geoquímicas y las propiedades geomecánicas. El medio tenderá a adaptarse a estas nuevas condiciones.

Operación (~ 50 a 100 años): Incluye la ubicación de los contenedores (dentro de los cuales están los residuos adecuadamente acondicionados), rodeados de bentonita compactada, con los materiales de relleno y sellado a medida que se van llenando gradualmente las galerías. El agua subterránea comenzará a moverse hacia la bentonita por la gran capacidad de absorción que tiene la arcilla compactada. Esta comenzará a hincharse y a sellar el repositorio. Al mismo tiempo, el agua subterránea reaccionará con el agua que tiene la arcilla y con los minerales presentes, bajo el impacto térmico de los residuos. Por otro lado, parte del agua en contacto con el contenedor empezará reaccionar con el hierro del mismo.

Para poder comprender mejor la función de la bentonita en el RGP resulta interesante conocer algunas de sus características relevantes: el término bentonita se aplica a materiales arcillosos del grupo de las esmectitas (fig. 6). Estas son filosilicatos, siendo sus características estructurales las que le confieren sus espectaculares propiedades de hidratación, sellado y retención. La estructura es en capas T–O–T donde las capas T tienen grupos silicatos de forma tetraédrica que encierran la capa O formada por octaedros en las cuales el Al, Fe y Mg están rodeados de oxígeno. Esta estructura T–O–T forma láminas de extensión infinita. Debido a los cationes de la capa O, las superficies externas T estarán cargadas negativamente. Cuando estas capas se apilan, entre ellas tenderán a colocarse cationes que neutralizarán las cargas. Estos cationes se rodearán de moléculas de agua generándose el hinchamiento de la arcilla. La cantidad de cationes necesarios para compensar las cargas negativas, sería la capacidad de intercambio iónico, uno de los procesos principales responsables de la retención de radionucleídos por parte de la arcilla. Además, toda esta configuración de apilamiento de láminas que resultan en partículas primarias y éstas a su vez en agregados, está relacionada con su funcionamiento hidráulico dado que presenta varios tipos de porosidad. La hidratación a volumen constante genera una presión de hinchamiento. La permeabilidad frente al agua es muy pequeña, aumentando con la hidratación. Otra propiedad importante es la succión que se traduce en una gran capacidad de absorber y retener agua. Como resultado, los mecanismos de hidratación, permeabilidad y succión están íntimamente relacionados

y son la base del funcionamiento hidromecánico de la bentonita.

La química del agua de poro será la que controle los procesos geoquímicos en contacto con el contenedor y dependerá de la mineralogía y la química de los minerales.

Funcionamiento después de la clausura (hasta los 1000 años): Los procesos citados en la etapa anterior continuarán y después de algunas centenas de años la bentonita se saturará y todo el sistema tenderá a reequilibrarse en las nuevas condiciones. El repositorio será un espacio de menor permeabilidad que la formación geológica que lo rodea. El hinchamiento de la bentonita ejercerá una presión sobre la roca que ésta tenderá a disipar y todos los procesos seguirán bajo el impacto térmico de los residuos, mientras continua el decaimiento radiactivo. Comenzará la corrosión de los contenedores. La vida útil del contenedor se ha considerado en los cálculos de 1000 años como factor conservador, pero los estudios actuales con los materiales considerados es igual o mayor que 10000 años.

Funcionamiento en el largo plazo (mayor de 1000 años): Pasados varios miles de años el contenedor se habrá degradado. Se calcula que se requerirán al menos 104 años para transformar todo el hierro en oxihidróxido de hierro (magnetita). El agua de la bentonita saturará también los espacios accesibles. Comenzarán una serie de reacciones de lixiviación/precipitación dando lugar a la liberación de una pequeña fracción de radionucleídos. Los más móviles empezarán a desplazarse por difusión a través de la barrera de arcilla. Los elementos TRU encontrarán grandes dificultades para sobrepasar esta barrera (fig. 7). Al mismo tiempo y debido a la intensa radiación del producto vítreo o de las pastillas de UO_2 según el caso, se producirá la radiólisis del agua en contacto, generando H_2O_2 y H_2 . Este último se difundirá rápidamente, quedando los oxidantes que comenzarán a actuar superficialmente posibilitando la disolución de la matriz. En este proceso se liberarían radionucleídos, si bien precipitarán la mayoría donde persistan las condiciones reductoras. Este proceso es extremadamente lento y especialmente limitado, dado que la cantidad de agua es muy pequeña, por lo que rápidamente se alcanzará la saturación. Los estudios indican que pasados 100000 años sólo un 12% del combustible (ciclo abierto) participaría del proceso.

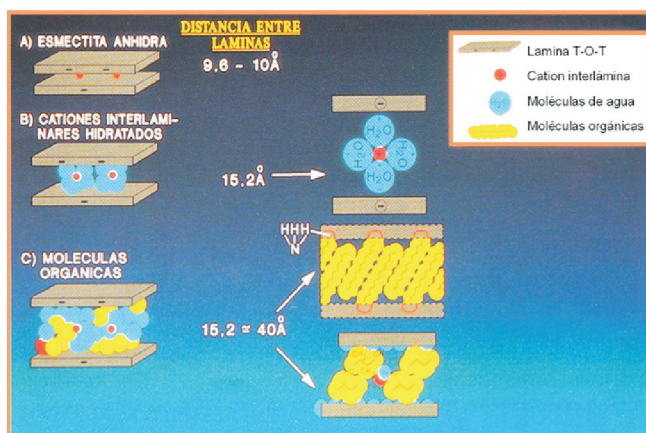


Fig. 6: HINCHAMIENTO DE ESMECTITAS (BENTONITA)

Resumiendo, lo primero que encontrarán los radionucleídos removidos serán los productos degradados del contenedor que se caracterizan por una elevada capacidad de reducción y retención. Como resultado son muy pocos los radionucleídos que atravesarán el contenedor degradado, necesitando además períodos muy largos. Luego se encontrarán con la barrera de bentonita. Los tiempos de tránsito son muy elevados por el movimiento de difusión y además por la propia estructura compleja de la bentonita. En definitiva, atravesar esta barrera requerirá miles y decenas de miles de años.

Interacción barrera geológica/biosfera: A través de la matriz de la roca el movimiento de los radionucleídos es también por difusión. Debido a la perturbación de la excavación en la zona huésped, la permeabilidad será algo mayor que en el resto de la formación geológica, por lo que los procesos de interacción serán relevantes. Cuanto menor sea el efecto de la excavación, más lenta será la llegada del agua a fracturas o discontinuidades. Cuando se incorpora un radionucleído a las mismas, el movimiento será advectivo, se desplazarán más rápido pero se producirán interacciones con los minerales que rellenan dichas fracturas. También se generará una difusión del agua en la matriz de la roca, generando la dispersión de los radionucleídos que transporta, ya que no toda el agua se mueve a la misma velocidad, en función de las heterogeneidades de la roca. Las sustancias disueltas reaccionarán con las fases sólidas con las que están en contacto así como con los elementos químicos disueltos. Pueden ocurrir además procesos de intercambio iónico, formación de complejos y precipitaciones. A lo largo de estos procesos los radionucleídos irán disminuyendo su concentración por desintegración radiactiva. La capacidad de retardo de la barrera natural será extremadamente elevada, retrasando decenas de miles de años la incorporación a la biosfera.

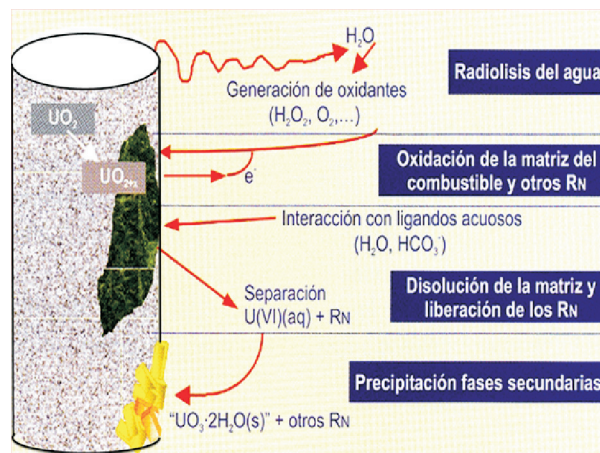


Fig. 7: ALTERACIÓN / DISOLUCIÓN DE LA MATRIZ DEL ECG

Cuando la muy pequeña cantidad de radionucleídos llegue a la biosfera, tendrá lugar una dilución y dispersión. La incorporación al hombre será un proceso muy poco probable y la concentración de radionucleídos en el medioambiente procedentes del repositorio será similar a la del fondo geoquímico natural.

FACTORES DE DIVERSOS TIPOS QUE PUEDEN INCIDIR EN EL DESARROLLO DE PROGRAMAS VINCULADOS A LA DISPOSICIÓN GEOLÓGICA

Existen factores no cuantificables, tales como los de índole social y político

Si bien se ha alcanzado un nivel de consenso en términos de tecnología y criterios de seguridad relacionados con la disposición geológica profunda, existen numerosos factores no cuantificables, tales como los de índole social y políticos, que influyen en las decisiones. El problema es convencer a la sociedad y a las autoridades que actualmente existen soluciones tecnológicas para disponer los residuos en un RGP, con garantías suficientes de seguridad durante el período que deben permanecer confinados. Debe haber un marco legal con una clara distribución de responsabilidades y competencias a través de las cuales permita hacer conocer a la comunidad toda la información necesaria que pueda mitigar las preocupaciones, de modo que fortalezcan todo el conocimiento necesario para acrecentar la confianza y la aceptación pública. Es imposible no aceptar el RGP si se respeta la ética. Actualmente existe una abundante documentación sobre el tema, así como sobre las experiencias en diversos países.

Las nuevas tecnologías innovadoras: separación y transmutación (S&T)

Uno de los desafíos más grandes en el uso de la energía nucleoelectrónica son los residuos de alta actividad que se producen durante su generación. La preocupación de la sociedad disminuiría si se consiguiera reducir el inventario radioactivo. Por este motivo desde hace varios años se está estudiando la posibilidad de opciones complementarias a la gestión, tales como las relacionadas con las tecnologías innovadoras de separación y transmutación (S&T).

La **separación** es una serie compleja de operaciones químicas, tanto en medio húmedo (hidrometalúrgicas) como en seco (pirometalúrgicas), para extraer los actínidos minoritarios (Np, Am y Cm) y algunos productos de fisión de período largo a fin de convertirlos a un estado que permita su posterior gestión, ya sea transmutándolos mediante la fabricación con ellos de nuevos combustibles o blancos de irradiación, o para su disposición final mediante una adecuada inmovilización. El estado actual indica que por vía hidrometalúrgica se trata de optimizar los coeficientes de extracción con nuevos extractantes orgánicos, mientras que por vía pirometalúrgica se han obtenido datos básicos para la separación por electrorefinado. La técnica consiste en calcinar los RLAA; los óxidos obtenidos se cloran y los cloruros formados se disuelven en una mezcla de sales alcalinas (cloruros o fluoruros) fundidas a alta temperatura, para posteriormente hacer una electrólisis de la mezcla utilizando diversos tipos de cátodos. La vía pirometalúrgica se aplicaría particularmente en combustibles con alto contenido de actínidos minoritarios (AM) y alto quemado.

Cualquier proceso de separación tendría como etapa previa, el reprocesamiento de los combustibles gastados mediante el proceso PUREX (vía húmeda), donde se extraen el uranio y el plutonio presentes en el combustible gastado con recuperaciones del 99,9%. Los residuos remanentes, adecuadamente vitrificados, deberán ubicarse en un repositorio geológico profundo, pero su potencial riesgo radiológico será mucho menor.

La **transmutación** de los radionucleídos previamente separados comprende la fabricación de combustibles y/o blancos de irradiación, la transmutación propiamente dicha y el tratamiento de los combustibles y blancos irradiados. La fabricación de combustibles en forma de óxidos para el reciclado del plutonio está plenamente desarrollada y comercializada (combustibles MOX). Los AM pueden también incorporarse como óxidos, aleaciones o nitruros, o en forma heterogénea, contenidos en materiales inertes. Los productos de fisión como el Iodo129 y el Tecnecio99 serían incorporados en los combustibles al estado metálico. La transmutación propiamente dicha puede hacerse por reacciones de fisión o captura neutrónica. La transmutación de los actínidos se realiza generalmente mediante las reacciones de fisión, mientras que la transmutación de los productos de fisión se efectúa por reacciones de captura neutrónica. En ambos casos será necesario disponer de sistemas transmutadores que produzcan un alto flujo de neutrones con un espectro energético adecuado, tales como los reactores rápidos o sistemas sub-críticos accionados por un acelerador (ADS: *Accelerator Driven Systems*).

Actualmente la investigación está centrada principalmente en el diseño de aceleradores de protones con una energía próxima a 1 GeV, de alta intensidad y gran estabilidad, y en el diseño de fuentes de espalación. La transmutación está probada a nivel laboratorio. La demostración está en marcha y consiste en el desarrollo de un prototipo de transmutador de 300 megavatios (MW) que estará listo antes de 10 años. El proyecto es europeo y se llama Eurotrans. Según el responsable del proyecto se requerirían otros 20 años para disponer de un equipo industrial.

El sistema de transmutación mostrado en la fig. 8 es un amplificador de energía y consiste en la utilización conjunta de un haz de partículas procedente de un acelerador, un blanco de espalación de neutrones y un sistema subcrítico acoplado, que permite la multiplicación de los neutrones de espalación a través de las fisiones y logra un suministro extra de neutrones para que el funcionamiento del sistema genere energía continuada de forma rentable, siempre trabajando en condiciones de subcriticidad. En este diagrama se utiliza la opción del ciclo del torio (Th 232) que además es un elemento fértil.

La radiotoxicidad de los actínidos en la S&T: Para alcanzar un factor de reducción próximo a 100 (fig. 9), sería necesario irradiar varias veces estos elementos en los reactores transmutadores, requiriendo una etapa de separación entre cada dos transmutaciones. La comparación con el ciclo abierto permite observar factores de reducción del orden de 2 a 5 cuando se recicla Pu.

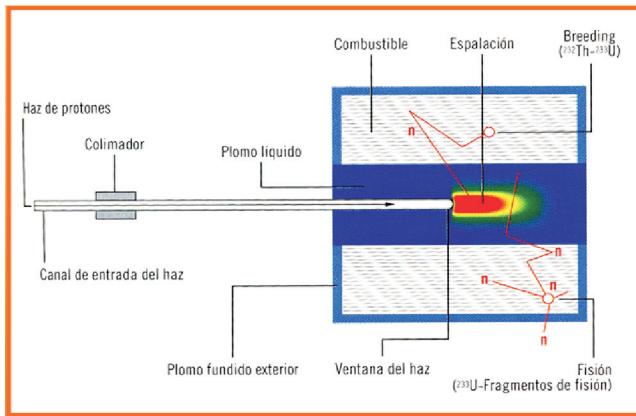


Fig. 8: TRANSMUTACIÓN

Beneficios de la S&T

- Una reducción importante de la radiotoxicidad en un factor próximo a 100.
- Reducción del tamaño del RGP y del riesgo radiológico potencial a largo plazo.
- Gestionar de forma independiente los radionucleídos emisores de calor a corto plazo (Sr y Cs).
- Menor complejidad en la demostración de seguridad a largo plazo de un repositorio. No obstante, la complejidad química del RAA sería mucho mayor.
- Al transmutar el plutonio y los actínidos minoritarios por fisión se genera energía.

Dificultades de la S&T

- La separación avanzada requiere una línea nueva de extracción de actínidos y fabricación de combustibles nucleares. Significaría un cambio de dirección en la industria del reproceso.
- La complejidad de la transmutación es enorme, con dificultades técnicas no carentes de riesgos radiactivos para operarios y posiblemente de proliferación.
- Los recursos económicos que son necesarios para alcanzar prototipos industriales son muy altos y sólo podrían compensarse si finalmente se alcanzase el éxito y la transmutación fuera una nueva forma de generación de energía.
- La implementación de un programa comercial de S&T requerirá largos períodos de tiempo para su desarrollo, grandes inversiones y una amplia colaboración internacional en I&D, así como también la utilización continuada de la energía nuclear.

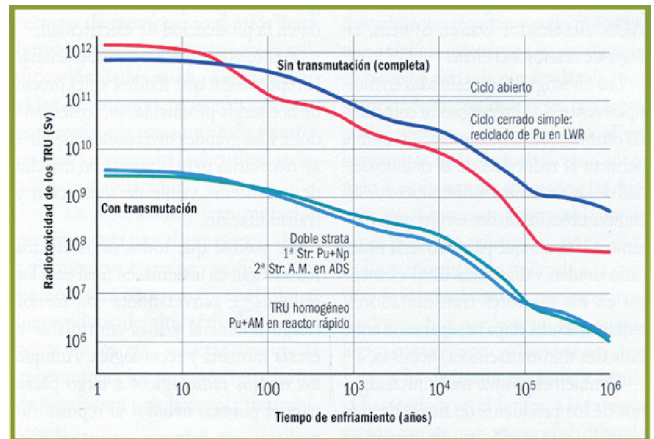


Fig. 9: RADIOTOXICIDAD DE LOS ACTÍNIDOS EN LA S & T

Desde principios de este siglo se acordó proceder con el desarrollo de un sistema de energía nucleoelectrica con reactores de IV Generación con el objeto de identificar sistemas (el reactor y ciclo de combustible) que cumplan con los desafíos de seguridad, de competitividad económica, minimización de los residuos y resistencia a la proliferación. Además, en el largo plazo, la disponibilidad de recursos de uranio puede convertirse en un factor limitante y, en consecuencia, el empleo de reactores de IV Generación aseguraría operar ciclos de combustible que minimicen la producción de radionucleídos de período largo, conservando los recursos de uranio. En principio, según lo acordado por el Forum Internacional de la IV Generación (GIF) se deberían utilizar neutrones rápidos y reciclar todo el combustible. Los sistemas seleccionados a fines del 2002 por el Forum son los reactores rápidos enfriados por sodio (SFR), gas (GFR), plomo (LFR) y agua supercrítica (SCWR). Respecto de los objetivos relacionados con la seguridad tienen un excelente comportamiento en la gestión de los actínidos debido a su ciclo cerrado, a través de su reciclado, incorporándolos en nuevos combustibles para su quemado total. En Francia, el Comité de la Energía Atómica, en una reunión en 2005, tomó como prioridad la investigación vinculada a estos reactores rápidos y proyecta su operación para mediados de este siglo.

Repositorios multinacionales

Existe un consenso entre la comunidad científica que la disposición geológica profunda proporciona, en términos técnicos y éticos, una solución definitiva para la gestión a largo plazo del combustible gastado y de los residuos de alta actividad, garantizando la seguridad intrínseca y física para las generaciones futuras sin imponerles cargas innecesarias.

Actualmente, la mayoría de los países han reconocido los beneficios de los repositorios compartidos frente a los nacionales, particularmente para aquellos que tienen programas nucleares pequeños

que generan residuos de período largo procedentes de actividades médicas, de investigación e industriales, o que poseen una geología compleja, o porque el uso intensivo del suelo no les permite disponer de espacio o por motivos de optimización económica. La seguridad física es otro motivo de justificación, debido a los crecientes temores en la comunidad defensora de la no proliferación por la eventual utilización indebida de los materiales fisiles, ya que el control de las instalaciones internacionales se reforzaría a través de los países participantes (fig 10).

Sin embargo, las poblaciones de los países con programas en ejecución, tales como Suecia, Finlandia y Francia, han reaccionado con cautela ante el concepto de un RGP compartido, particularmente por el temor de tener que aceptar residuos extranjeros en el futuro o verse forzados a hacerlo. Es importante, entonces, que la comunidad internacional preste el mayor apoyo a organizaciones que incluyan a los potenciales usuarios de RGP compartidos, reconociendo la necesidad de tal servicio y estableciendo la imposibilidad de obligar a un país a aceptar residuos de otros contra su voluntad. En los últimos años han surgido asociaciones tales como SAPIERR y ARIUS, que tienen como objetivo promover proyectos específicos, particularmente los repositorios europeos regionales e internacionales.

Un RGP internacional requiere un país dispuesto a acogerlo, con condiciones geológicas y medioambientales adecuadas para albergar una instalación de seguridad demostrable. Un enfoque prudente para muchos países consistiría en avanzar por los dos caminos, manteniendo abiertas las opciones nacionales e internacionales, (camino de “doble vía”). Así, Bélgica, Letonia, Lituania, Eslovaquia, Eslovenia y Suiza han optado por esta opción. Además existe una propuesta de Rusia para un repositorio internacional que está bajo consideración. En esta instancia, es importante seleccionar países anfitriones con credenciales especialmente buenas en materia de salvaguardias.

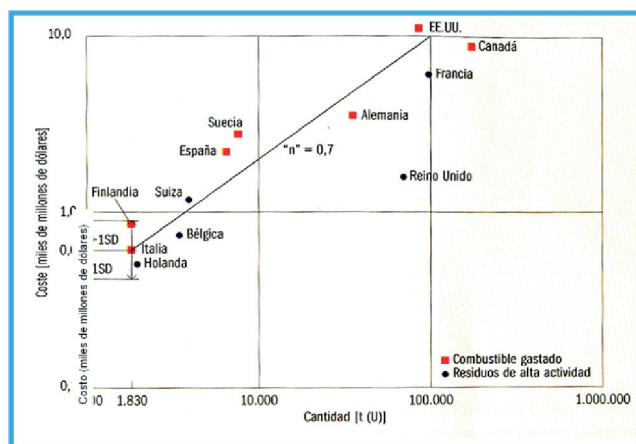


Fig. 10: COSTOS DEL RGP EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE COMBUSTIBLE GASTADO Y/O PRODUCTO VÍTREO PARA DIVERSOS PAÍSES

Repositorios recuperables

Como ya se ha mencionado, la disposición geológica profunda involucra el emplazamiento de los residuos adecuadamente acondicionados en un repositorio construido entre los 300 y los 1000 metros de profundidad, en un medio geológico estable y con gran poder de confinamiento. La seguridad se garantiza a través del empleo de barreras pasivas múltiples, independientes y redundantes, de modo que los repositorios están diseñados e implementados para evitar acciones posteriores a la clausura que perjudiquen a las futuras generaciones. Esto último no significa, sin embargo, que los programas actuales no incluyan la posibilidad de controles institucionales y monitoreo post-clausura, contribuyendo, por ejemplo, a prevenir la intrusión humana y, en el evento de su ocurrencia, mitigar las consecuencias.

Algunas organizaciones responsables de la disposición definitiva han optado por incorporar los conceptos de reversibilidad y recuperabilidad en sus programas. Estos conceptos se han venido discutiendo desde hace algunos años. Forman parte de estrategias en etapas, también llamadas “paso a paso”, encontradas en la literatura como “step wise approach” o “phased geological disposal”. En cada etapa, la decisión de continuar o no se adopta de acuerdo a consideraciones técnicas, socio políticas y éticas, por lo cual es importante evaluarlas y determinar sus implicancias.

Como primera medida es importante conocer el significado de los conceptos de reversibilidad y recuperabilidad con referencia a la disposición final.

Disposición final se refiere al emplazamiento del residuo adecuadamente acondicionado en un repositorio sin la intención de recupero (en cambio, el almacenamiento significa mantener los residuos en una instalación que provee contenimiento, con la necesidad ineludible de recuperación para la disposición definitiva). La disposición final descansa en el concepto de una inherente seguridad pasiva, mientras que el almacenamiento requiere una administración o control continuo para garantizar la seguridad. Ahora bien, aunque no hay a la intención de recuperación en la disposición final, debe ser posible la misma.

Reversibilidad significa la posibilidad de revertir una o una serie de etapas. Implica la revisión e incluso la re-evaluación de las primeras decisiones, así como las medidas técnicas y financieras para ejecutar la reversión. En las primeras etapas del programa puede ser revertir una decisión respecto a la selección del emplazamiento o a la adopción de una opción de diseño. En las últimas etapas, durante la construcción y operación, o siguiente al emplazamiento de los residuos, puede significar la modificación de uno o más componentes de la instalación o aún la recuperación de residuos acondicionados (llamados en la literatura “waste packages”) de sectores de la instalación.

Recuperabilidad significa la posibilidad de revertir la acción del emplazamiento del residuo. Es un caso

especial de la reversibilidad. Recuperación es la acción de recuperar el o los residuos acondicionados. Puede ser necesario en varias etapas después del emplazamiento, incluyendo después del sellado final y clausura. Puede referirse a residuos acondicionados fallados o dañados, o recuperación de algunos o todos los residuos acondicionados en algún momento después del emplazamiento, o a recuperación de los materiales del residuo si la integridad del contenedor asociado se ha perdido. La recuperabilidad puede facilitarse por el diseño del repositorio y por estrategias operacionales, por ejemplo, dejando accesos subterráneos abiertos durante un cierto tiempo y sistemas de emplazamiento /recuperación en el lugar hasta la última etapa.

Ventajas

- Los residuos se removerían del repositorio en respuesta a problemas de seguridad técnica, que sólo pueden reconocerse después del emplazamiento del residuo, revelando características no esperadas o fenómenos que son detrimentales a la seguridad en el largo plazo del repositorio.
- La posibilidad de extraer recursos a partir de los residuos en el repositorio.
- La intención de usar tratamientos de residuos o técnicas de disposición final a ser desarrolladas en el futuro.
- Cambio en la aceptación social y percepciones de riesgo o requerimiento de cambios de política.
- Flexibilidad.
- El apoyo público y de los responsables del programa aumenta la probabilidad de aceptabilidad y confianza de potenciales comunidades anfitriones.

Desventajas

Las razones para no mantener abierto el repositorio por períodos extendidos son:

- La imposición de cargas sobre las generaciones futuras.
- Efectos potenciales negativos, incluyendo la seguridad convencional y la exposición de los trabajadores comprometidos en operaciones de almacenamiento extendido.
- Incremento de oportunidades para accesos no autorizados al repositorio, para recuperar o interferir con los residuos durante épocas de inquietudes sociales y políticas.
- Incremento de los costos financieros asociados con requerimientos de diseño más onerosos y el mantenimiento del repositorio abierto por

más tiempo.

- Flexibilidad cuestionable – una vez que los residuos son emplazados es difícil contemplar circunstancias donde los residuos serían removidos – ya que esto requeriría instalaciones alternativas y potencialmente el abandono de un repositorio caro.

Para lograr la confianza necesaria de la sociedad con respecto a la disposición geológica es importante dar a conocer que el camino hacia la disposición definitiva se hará a través de una estrategia paso a paso, por etapas, con oportunidades para efectuar revisiones, teniendo en cuenta el interés técnico y público. La flexibilidad del proceso de decisión no es el objetivo en sí, sino es una buena práctica. Puede contribuir a reafirmar la confianza técnica en la capacidad de gestionar de forma segura el residuo (que eventualmente no debería ser necesaria, ya que los criterios de seguridad requieren que se demuestre la funcionalidad del repositorio a largo plazo, previo a su licenciamiento), así como la confianza en un modo que es menos inflexible que el de una decisión irreversible.

Debiera asegurarse que cualquier medida que se adopte no tendría un efecto adverso inaceptable sobre la seguridad y sobre el comportamiento del sistema de disposición geológica. Si bien la selección entre opciones de gestión se dejan abiertas a las generaciones futuras, la responsabilidad primaria para resolver el problema aún descansa en la generación presente. Esta generación debe decidir sobre el balance entre los esfuerzos a realizar para mantener y monitorear las condiciones en un repositorio y la resultante recuperabilidad. Estas decisiones tomadas hoy deben basarse sobre los valores actuales y el conocimiento de los asuntos éticos y otras preocupaciones nacionales.

Según arguyen los tomadores de decisiones, las medidas que favorecen la flexibilidad en una decisión son sin embargo consistentes con los principios éticos, en el sentido de que las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras serían respetadas, incluyendo sus libertades de tomar sus propias decisiones.

La recuperación del residuo puede facilitarse a través de ciertas medidas tales como el retraso del relleno de los accesos al repositorio durante cierto período de tiempo extendido, siguiente al emplazamiento de los residuos. Por ejemplo, Estados Unidos estableció para el repositorio de Yucca Mountain un período de 100 a 300 años previos a su cierre. Obviamente, medidas o adaptaciones del diseño involucran un costo adicional, el cual debe ser balanceado respecto de las ventajas que proporciona la flexibilidad adicional, ya sea en términos de oportunidades técnicas o aceptación social.

Implicancias técnicas, requerimientos de I&D, arreglos institucionales y financieros:

La **factibilidad técnica** de recuperación de

residuos difiere en cada etapa del desarrollo del RGP. Durante el período de emplazamiento y previamente a la colocación del relleno, la recuperación del residuo es posible por el uso reverso de los sistemas de emplazamiento diseñados para recuperar contenedores fallados o caídos. Asimismo, también puede removerse el relleno como parte del diseño normal para corregir una colocación incorrecta. Después del rellenar galerías, la recuperación involucraría la rotura de los sellos, progresiva remoción del relleno con sumo cuidado para restablecer la estabilidad de la roca y cuidadosa excavación alrededor de los contenedores. El equipo utilizado sería similar al usado en minería y en desmantelamiento nuclear. Debe tenerse en cuenta que el sellado y cierre de un repositorio representa un hito fundamental en el desarrollo del mismo desde las perspectivas técnicas, administrativas y sociales. Debe proveer garantías razonables de que la instalación responderá de acuerdo a los conocimientos y demostraciones del comportamiento de sus componentes durante el período que los residuos deben permanecer confinados. No se han previsto circunstancias que pudiesen requerir una recuperabilidad urgente.

La **I&D** es necesaria para aplicar tecnologías relevantes en caso de la recuperabilidad, por ejemplo, después de la colocación del relleno, para efectuar operaciones mineras, para mantener la estabilidad geológica en el campo cercano, para ejecutar toda clase de actividades bajo presiones, altas temperaturas y alta radiación, para mantener las condiciones ambientales necesarias en el medio geológico, etc.

Los **arreglos institucionales** son necesarios para que la reversibilidad/recuperabilidad sea factible, por lo cual se debe asegurar el mantenimiento de la capacidad técnica adecuada en cada una de las etapas siguientes al emplazamiento de los residuos; deben estar definidos los métodos para la recuperabilidad, incluyendo condiciones de falla o accidentes de componentes; la realización de evaluaciones técnicas periódicas previamente en cada una de las etapas siguientes hacia la clausura; y el monitoreo periódico para verificar que las condiciones bajo las cuales puede ser necesaria la recuperabilidad son las requeridas. La política gubernamental debe incluir indicaciones para los diferentes tipos de residuos, teniendo en cuenta los recursos disponibles y otros factores. El gobierno también necesita asegurar la infraestructura regulatoria, organizacional y financiera para llevar adelante el programa.

Las **implicaciones financieras** incluyen los costos de cambios de diseño para facilitar la recuperabilidad y, más significativamente, los costos de monitoreo, salvaguardias y mantenimiento del repositorio por décadas o centurias si se requiere un período abierto extendido. Los gobiernos pueden tener que tomar la responsabilidad si el mantenimiento de la recuperabilidad se convierte en un compromiso abierto-cerrado.

En la mayor parte de los conceptos, la recuperación del residuo será técnicamente más demandante a medida que las etapas progresan hacia la clausura, es decir a medida que se van rellenando progresivamente las bóvedas y accesos y se van

colocando los sellos. Aunque la recuperación puede ser posible en todas las etapas incluyendo después de la clausura, la recuperabilidad debiera considerarse principalmente en el período previo al cierre, de modo que la I&D y los arreglos institucionales se concentrarían sobre este período. Si bien técnicamente la recuperabilidad es posible después de la clausura, requiere recursos sustanciales para restablecer las instalaciones y accesos subterráneos y superficiales. Si la necesidad de la recuperabilidad es cuidadosamente evaluada en cada etapa, se alcanzaría un alto nivel de confiabilidad al tiempo de la clausura, de modo que no existirían razones técnicas o sociales para la recuperación.

CONSECUENCIA DE LA INCIDENCIA DE LOS DIVERSOS FACTORES SOBRE LOS DESARROLLOS DE PROGRAMAS VINCULADOS A LA DISPOSICIÓN GEOLÓGICA: EL ALMACENAMIENTO TEMPORAL A LARGO PLAZO (ATLP)

Los enunciados mencionados anteriormente, los de índole social, la viabilidad técnica y económica sobre combinar tecnologías de S&T con el RGP, la decisión de un RGP regional o internacional, el cambio de diseño del RGP hacia la recuperabilidad, han dado como resultado la tendencia a posponer cualquier decisión sobre las soluciones finales, con el objetivo de un análisis más profundo.

La seguridad es el principio relevante en todas las etapas de la GRR y particularmente en el caso del combustible gastado y de los RAA, donde los períodos de tiempo que deben permanecer confinados son significativamente prolongados. Es entonces forzoso considerar el impacto de sus actividades con una dimensión inter-generacional. Es decir, las generaciones actuales deben decidir sobre qué niveles de riesgo e incertidumbre dejan a las próximas.

Desde hace más de 25 años, la comunidad científica internacional ha realizado grandes esfuerzos para establecer criterios comunes en la forma de abordar las diversas cuestiones que derivan de lo anterior. Se ha adoptado el criterio de tomar como guía y referencia los Principios Fundamentales de la Gestión de los Residuos Radiactivos (*Safety Series N° 111-F*), publicados por el OIEA en 1995 en el marco del programa RADWASS que posteriormente fueron incluidos en la Convención Conjunta ratificada por nuestro país.

Varios países han adoptado el almacenamiento temporal a muy largo plazo (ATLP) (fig. 11) para abordar con holgura la solución definitiva. Supone una opción de predisposición final segura, económica y flexible, que permite disponer de tiempo para analizar y valorar la evolución de las condiciones que influyen en el proceso de toma de decisiones.

Si bien la disposición definitiva de los residuos radiactivos, particularmente la de los de alta actividad, no es una cuestión impostergable, sí es absolutamente ineludible.

A través de este artículo se han descrito y analizado todos los pasos y opciones vinculadas a la disposición geológica de los RAA.



Fig. 11: ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE CONTENEDORES

El sistema de disposición geológica, de acuerdo a los criterios de seguridad, sería lo suficientemente flexible para continuar proporcionando protección a la comunidad local, aún después de la disrupción de las barreras.

Están diseñados e implementados para evitar la necesidad del monitoreo y control institucional. Ellos no se clausuran hasta que haya un alto grado de garantía respecto a la seguridad a largo plazo. Sin embargo, el monitoreo y el control institucional pueden contribuir a lograr la seguridad, previniendo la intrusión humana y, en el evento de su ocurrencia, mitigando las consecuencias.

No obstante, la opinión pública reitera su “not in my garden”, tal vez por el hecho de que sea definitiva, probablemente por un total desconocimiento del tema y seguramente por una “mala” información. Sea por lo que fuera, el caso es que algunos países están como ya se ha dicho, encarando el almacenamiento temporal extendido en el tiempo, es decir a muy largo plazo (ATLP), que si bien es un recurso que brinda tiempo a la espera de nuevas soluciones, también es una excusa para eludir responsabilidades.

La seguridad de un ATLP requiere un mantenimiento de la infraestructura regulatoria, de seguridad física e industrial. También requiere que las sociedades futuras se encuentren en posición de ejercer un control activo sobre estos materiales, así como mantener una transferencia efectiva de responsabilidades, conocimientos e información de generación a generación. El ATLP no ofrece protección contra los riesgos a muy largo plazo generados por la pérdida de la estabilidad social y control.

Si la generación actual retrasa las decisiones a la espera de nuevas tecnologías, no se debe esperar que las generaciones futuras tomen decisiones diferentes.

La seguridad de un sistema de disposición geológica es ampliamente aceptada entre la comunidad técnica y es así que un número significativo de países se mueven hacia esta opción.

El almacenamiento temporal y la disposición geológica son complementarias y ambas son necesarias, pero el ATLP no debe extenderse demasiado en el tiempo en perjuicio de la disposición definitiva, única solución real y ética.

BIBLIOGRAFIA

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Principles of Radioactive Waste Management*, Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienna (1995).

JOINT CONVENTION on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546, IAEA, Vienna (1997).

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, *Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long Lived Solid Radioactive Waste*, ICRP Publication 81, Pergamon Press, Oxford and New York (2000).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Geological Disposal of Radioactive Waste*, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-4, IAEA, Vienna (2006).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Predisposal Management of High Level Radioactive Waste*, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.6, Vienna (2003).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Factors Affecting Public and Political Acceptance for the Implementation of Geological Disposal*, IAEA-TECDOC-1566, Vienna 2007.

OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, *Reversibility and Retrievability in Geological Disposal of Radioactive Waste*, Reflections at the International Level. (2006).

TWENTY FOURTH ANNUAL INTERNATIONAL SYMPOSIUM 1999, Maurice Allègre: *The Deep Geological Repository: an Unavoidable Ethically Correct Solution*

LEGACY ADVISORY FORUM (NuLeAF) *Briefing Paper, Retrievability and design of a Geological Repository*, July 2007

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Retrievability of High Level Waste and Spent Nuclear Fuel*, IAEA-TECDOC-1187, IAEA, Vienna (2000).

PUBLICACIÓN TÉCNICA DE ENRESA, No. 02/2004, Estudio de los productos de corrosión de la cápsula y su interacción con la barrera arcillosa de bentonita “CORROBEN”.

ESTRATOS No. 73 (2004), El proyecto integrado NF-PRO, “Análisis de la seguridad en el campo próximo de un almacenamiento geológico profundo para residuos de alta actividad”, Julio Astudillo y Mariano Molina.(Enresa)

ESTRATOS No. (2005), “Antes de diez años estará funcionando un prototipo europeo de transmutación de residuos de 300 MW”, Entrevista a J.A.Rubio, director general del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat)

ESTRATOS No. (2005), “Repositorios multinacionales para residuos radiactivos” por Charles Mc.Combie, ARIUS ASSOCIATION (Suiza).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *The Long Term Storage of Radioactive Waste: Safety and Sustainability; A Position Paper of International Experts*, Vienna 2002

Chernóbil: Los hechos

RENATO RADICELLA, COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

El trabajo describe brevemente el accidente de Chernóbil y sus consecuencias con la finalidad de proporcionar una síntesis de la información proveniente de las fuentes más confiables. Se relata en líneas generales el accidente y las medidas que fueron tomadas para mitigar sus efectos. Se resumen los datos sobre las dosis recibidas por la población y los efectos que el accidente tuvo tanto sobre la salud humana como sobre el medio ambiente

The Chernobyl accident and its consequences are briefly outlined in order to provide a synthesis of the facts from the most reliable sources. The paper describes in main lines the accident and the measures that were taken to mitigate its effects. The data on the radiation doses received by the population and the effects of the accident on the human health as well as on the environment are summarized.

INTRODUCCIÓN

El accidente de Chernóbil marca un punto de inflexión en la historia del desarrollo nuclear. Ha sido el mayor accidente en más de medio siglo de utilización pacífica de la energía nuclear. Ha creado una enorme desconfianza en la opinión pública y ha sido la causa de que muchos países eliminaran de sus planes energéticos la generación nucleoelectrónica.

Ríos de tinta han corrido sobre el tema y centenares de conferencias y reuniones se han llevado a cabo para estudiar sus causas y sus consecuencias. Sin embargo, una mirada a las distintas fuentes de información, aún a algunas de las que suelen ser consideradas confiables, termina desconcertando a la persona que esté en busca de datos objetivos.

En ciertos documentos se habla de decena de miles de muertos causados por el accidente, en otros de algunas decenas. Hay quien afirma que cientos de miles de personas morirán de cáncer inducido por las radiaciones a las que han sido expuestas. Otros opinan que lo único que se puede comprobar es un ligero aumento de la probabilidad de cáncer de tiroides en los niños que han sido contaminados con el yodo radiactivo del accidente. Algunos hablan de malformaciones monstruosas en los que nacieron de padres irradiados. Otros afirman que no se han podido comprobar deformaciones debidas a las radiaciones del accidente.

Es claro que en el tratamiento del tema han intervenido y siguen interviniendo ingredientes que nada tienen que ver con el examen objetivo. Pesan sobre él factores ideológicos, políticos, económicos, sociológicos y hasta psicológicos que han hecho muy difícil un análisis racional y sereno de todo el acontecimiento.

Trataremos en lo que sigue de resumir los hechos y sus consecuencias ateniéndonos a las fuentes más objetivas y confiables.

EL ACCIDENTE

La localidad de Chernóbil se encuentra en Ucrania (parte de la antigua Unión Soviética), al norte de Kiev y a unos 20 Km al sur de la frontera con Bielorrusia (parte también de la antigua Unión Soviética).

La Central Nuclear de Chernóbil estaba formada por cuatro reactores del tipo RBMK-1000, de los cuales las unidades 1 y 2 fueron construidas entre 1970 y 1977 mientras las unidades 3 y 4 fueron puestas en servicio en 1983.

El reactor RBMK, de 1000 MWe, es un reactor diseñado y construido por la Unión Soviética. Es del tipo de tubos de presión, moderado con grafito, refrigerado por agua liviana y usa uranio enriquecido al 2%. En este tipo de reactores el agua hirviente alimenta directamente las turbinas, sin pasar por un intercambiador de calor. El edificio del reactor no configura una barrera de contención. A diferencia del reactor WWER, que fue exportado a otros países, el RBMK fue utilizado únicamente en territorio de la Unión Soviética y se empleó para generar energía eléctrica y como productor de plutonio para el programa de armas nucleares del país.

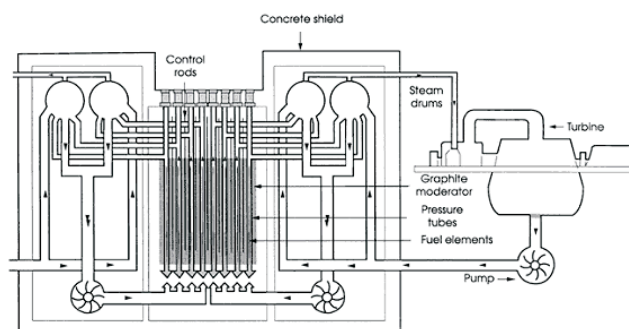


Diagrama de un Reactor RBMK

El accidente se produjo el 26 de abril de 1986 en el reactor de la unidad número 4. El día anterior el reactor había interrumpido su operación para ser sometido a un mantenimiento de rutina. Aprovechando la parada programada se decidió repetir un ensayo que había sido efectuado en una parada anterior con resultados no concluyentes. Se trataba de verificar la capacidad de los equipos de la planta para proveer energía eléctrica suficiente a la operación del sistema de refrigeración del núcleo y de los sistemas de emergencia, en el período que va entre el corte de la energía provista por el sistema principal de abastecimiento eléctrico y el arranque de los equipos de emergencia. Concretamente se quería verificar si la energía eléctrica producida por la turbina mientras se iba deteniendo sería suficiente para mantener activas las bombas del sistema de refrigeración.

No hubo un intercambio apropiado de información ni hubo coordinación entre el personal encargado del ensayo y el equipo de operación y seguridad del reactor, puesto que se estimó que la prueba concernía sólo al sector no nuclear de la planta. Esto hizo que en el programa de ensayos no se incluyeran las precauciones de seguridad adecuadas al caso y que no se advirtiera al personal encargado de las operaciones sobre las implicaciones para la seguridad nuclear y sobre los peligros potenciales de las pruebas que se efectuarían en el sistema eléctrico.

Por una parte hubo falta de coordinación. Por otra, la carencia de percepción del peligro de la maniobra, resultante del bajo nivel de la “cultura de la seguridad” en el personal de la planta, hizo que los operadores emprendieran un conjunto de acciones alejadas de los procedimientos de seguridad habituales. Todo ello predisponía a situaciones potencialmente peligrosas. Además, las debilidades graves del diseño del reactor hacían que la planta fuera potencialmente inestable aumentando la probabilidad de una pérdida de control en el caso de errores de operación.

Lo que ocurrió fue efectivamente una pérdida de control. La combinación de todos los factores mencionados hizo que el reactor saliera de control por fallas en la operación y que se produjera un repentino aumento de temperatura en los elementos combustibles. Por el brusco cambio de temperatura algunos elementos se quebraron y unos fragmentos muy calientes reaccionaron con el agua produciendo una explosión de vapor que destruyó al núcleo. Pocos segundos después se produjo una segunda explosión, que se atribuye al hidrógeno formado en el proceso.

Las dos explosiones, que se produjeron el 26 de abril de 1986 a la 01:23, causaron la destrucción del núcleo y del techo del edificio. Al mismo tiempo produjeron una lluvia de escombros incandescentes y radiactivos que incluía fragmentos del combustible, partes del núcleo, materiales estructurales y trozos de grafito. Los restos del núcleo que no fueron expulsados por la explosión quedaron expuestos a la atmósfera. Para



Vista aérea de los efectos del accidente en la unidad número 4 de la Central Nuclear de Chernóbil

agrar la situación el grafito del moderador se incendió y el fuego se propagó a diferentes lugares de la planta.

La “pluma” formada por humo, productos radiactivos y escombros se elevó hasta una altura de aproximadamente 1000 metros. Los componentes más pesados se depositaron rápidamente en las proximidades de la planta, mientras los componentes más livianos, incluyendo los productos de fisión, fueron arrastrados por el viento en dirección al noroeste. El intenso fuego producido por el grafito fue el principal responsable de la dispersión de los productos de fisión a grandes alturas. La emisión fue muy grande durante los primeros diez días, aunque de intensidad variable, y disminuyó abruptamente una vez apagado el incendio.

En resumen se puede afirmar que el accidente fue un claro producto de la falta de “cultura de la seguridad”. Puesto que el diseño del reactor era deficiente desde el punto de vista de la seguridad y muy exigente para con los operadores, la operación se volvió inestable. Los operadores no estaban bien informados y no sabían que el ensayo que se estaba llevando a cabo podía crear en el reactor condiciones de explosión. Además, no se ciñeron a los procedimientos establecidos. El conjunto de estos factores ha producido un accidente nuclear de la máxima gravedad y el reactor ha sido destruido completamente en pocos segundos.

LA DISPERSIÓN DE LOS MATERIALES RADIATIVOS

Las mejores estimaciones actuales indican que la actividad del total del material que se liberó en el ambiente a causa del accidente fue de aproximadamente 14 EBq, o 349 millones de curios en las antiguas unidades, lo que da una idea de la enorme magnitud de la catástrofe.

La emisión de radionucleidos duró más de diez días y estaba compuesta por gases, aerosoles y pequeñas partículas de elementos combustibles. Esto último fue particularmente importante por cuanto permitió que se dispersaran productos de fisión poco volátiles, como el cerio y el circonio, junto con elementos transuránicos. La composición y las características de los materiales radiactivos presentes en la "pluma" se fueron modificando con el tiempo a causa de la deposición por gravedad o por arrastre de las lluvias, por su decaimiento radiactivo, por reacciones químicas y por la variación del tamaño de las partículas. Los vientos, que en el momento del accidente soplaban en dirección al Noroeste, en los días siguientes cambiaron su rumbo con frecuencia por lo cual las áreas afectadas por la "pluma" y por la consiguiente deposición de materiales radiactivos fueron extremadamente extendidas. Se vio afectado casi todo el hemisferio norte y en especial algunas regiones de la antigua Unión Soviética. Con excepción de la Unión Soviética, hubo contaminaciones significativas solo en algunas partes de Europa. La forma como se fue depositando el material radiactivo fue muy irregular y, como era de esperar, la mayor deposición se observó cuando el paso de la "pluma" coincidió con un período de lluvias. Las zonas de mayor contaminación correspondieron al Norte de la actual Ucrania, al Sur de Bielorrusia y al Suroeste de Rusia.

La composición radioisotópica del material que se dispersó fue muy compleja. Los radionucleidos del yodo y del cesio fueron los más significativos desde el punto de vista radiológico. El I 131, con un período de semidesintegración de 8,02 días, fue el de mayor impacto radiológico en el corto plazo, mientras el Cs 137 y el Cs 134, de 30,0 y 2,0 años de período respectivamente, tienen un mayor impacto en el largo plazo. Es también significativa para el largo plazo la presencia de Sr 90, de 28,0 años de período, debido a su radiotoxicidad.

Con el pasar del tiempo y gracias a los estudios que se están realizando continuamente se va conociendo cada vez mejor el comportamiento ambiental de los radioisótopos que se han depositado como consecuencia del accidente. Al momento actual, los radionucleidos se encuentran en las primeras capas del suelo y continúa su transferencia paulatina a las plantas, en especial a las bayas, los hongos y los productos del bosque. Los niveles de contaminación decrecen lentamente debido a la absorción por las plantas y se puede prever que en el futuro disminuyan solo con el período de semidesintegración del Cs 137.

LAS MEDIDAS TOMADAS PARA MITIGAR LOS



Ubicación de la Central Nuclear de Chernóbil

EFFECTOS DEL ACCIDENTE

Los bomberos fueron el primer grupo que intervino en el accidente para controlar el incendio que se había declarado en varios lugares de la planta. Entre ellos se cuenta el mayor número de bajas. Posteriormente se comenzó con las tareas de limpieza del sitio, a fin de facilitar la entrada en servicio de los otros tres reactores que integraban la planta de Chernóbil. Cerca de 200.000 personas, que se dieron en llamar "liquidadores", provenientes de toda la Unión Soviética, fueron empleadas en los primeros tiempos para la limpieza y recuperación del sitio. Los "liquidadores" de los primeros años, 1986 y 1987, recibieron dosis importantes de radiación. La cantidad de "liquidadores" en los años siguientes fue aumentando hasta alcanzar a más de 600.000, pero la mayoría de ellos recibió solo dosis de radiación muy pequeñas.

Las acciones siguientes, que se tomaron apenas se tuvo conciencia de la gravedad del accidente, fueron dirigidas a proteger a la población de la exposición al material radiactivo que se había liberado. Se efectuó la evacuación urgente de la ciudad de Pripyat y de los otros asentamientos próximos. Al mismo tiempo se iniciaron los trabajos de limpieza.

Al comienzo la evacuación fue obligatoria para toda la población de la zona de exclusión, que tenía un radio de 30 km alrededor de la planta. Después los criterios que guiaron la evacuación fueron más específicos y tuvieron en cuenta el valor de la contaminación por el Cs 137 y la dosis individual promedio en cada asentamiento en particular. Los trabajos de limpieza incluyeron el lavado

de edificios y de calles, la remoción de la capa superior del suelo y el aislamiento y enterrado de maquinarias y equipos contaminados. Para prevenir la ulterior liberación de radiactividad se fabricó alrededor de los restos del reactor una estructura de protección, que se denominó "el sarcófago". El suelo altamente contaminado de las proximidades del reactor fue removido y se construyó un sistema de diques y otras obras hidráulicas para reducir el drenaje de los terrenos muy contaminados.

Al mismo tiempo se impusieron restricciones al uso de la tierra y se reforzaron los controles de radiactividad en alimentos y en otros productos. En los años siguientes los estándares para la contaminación con sustancias radiactivas se hicieron más estrictos y las restricciones al uso de las tierras se complementaron con la aplicación de contramedidas agrícolas para prevenir la migración de radioisótopos del suelo a las plantas.

La dimensión y la gravedad del accidente no habían sido previstas por las autoridades nacionales encargadas de la salud y del manejo de las emergencias y por lo tanto los criterios de intervención y los procedimientos no eran adecuados para enfrentar la situación. Este hecho dificultó seriamente la toma de decisiones. Además, al principio del accidente y en los días inmediatamente posteriores había poca información disponible y se ejerció una fuerte presión política sobre las autoridades intervinientes, que respondía en parte a la percepción confusa e imprecisa que el público suele tener de los daños producidos por la radiación. Como consecuencia, las decisiones que se tomaron tendieron a exagerar las medidas de precaución y no tuvieron en cuenta la opinión de especialistas y expertos.



Dentro del territorio de la ex Unión Soviética las
El "sarcófago",

medidas de corto plazo fueron masivas y, por lo general, oportunas y efectivas. Donde se presentaron las mayores dificultades fue en la fijación de criterios para el manejo en el largo plazo de las zonas contaminadas y en la reubicación del gran número de pobladores que fueron evacuados. Estos criterios variaron con el tiempo y esencialmente tomaron en cuenta consideraciones que entremezclaban las exigencias de la protección radiológica con el requerimiento de compensaciones económicas. Se creó así una fuente de confusión y de posibles arbitrariedades que contribuyeron al desasosiego de los afectados.

La dispersión progresiva de la contaminación a lugares muy distantes del accidente y fuera de los límites de la ex Unión Soviética, causó gran preocupación en los países afectados. Las reacciones de las autoridades nacionales variaron desde la intensificación de los programas de monitoreo ambiental, sin necesidad de la adopción de contramedidas específicas, hasta restricciones forzosas del comercio y consumo de alimentos.

Hubo diferentes criterios de elección y aplicación de los niveles de intervención de las medidas correctivas. Estas diferencias de criterios fueron independientes de las diferencias objetivas en los niveles de contaminación y en los sistemas regulatorios de cada país; fueron debidas esencialmente a interpretaciones equivocadas y al uso inapropiado de las normas, en especial en el caso de los alimentos contaminados.

Factores no radiológicos tales como componentes socio-económicos, políticos y psicológicos contribuyeron fuertemente a ahondar las diferencias de enfoques entre países y países.

Esta situación hizo que hubiera confusión y preocupación en las poblaciones afectadas, perplejidad entre los expertos y serias dificultades para las autoridades nacionales. Hubo serios problemas de credibilidad entre el público y un derroche de esfuerzos que provocó pérdidas económicas innecesarias. Las diferentes reacciones de las autoridades y de los medios agudizaron los problemas en las zonas fronterizas. Afortunadamente, al poco tiempo se tomó conciencia de estos problemas y se realizaron esfuerzos internacionales para armonizar los criterios en la gestión de la emergencia.

LAS DOSIS RECIBIDAS POR LA POBLACIÓN

Un gran número de personas recibieron dosis de radiación considerables como resultado del accidente. Desde el punto de vista radiológico las dosis más importantes fueron las recibidas por la tiroides de los niños y las dosis absorbidas por todo el cuerpo. Las primeras fueron debidas a la irradiación externa y principalmente a la inhalación e ingestión de radioisótopos de yodo, las segundas a la irradiación externa y a la ingestión de isótopos radiactivos de cesio.

Los bomberos, el personal de la planta y los liquidadores que intervinieron inmediatamente después

del comienzo del accidente así como los que efectuaron tareas especiales en el "sarcófago" fueron los más expuestos y algunos de ellos recibieron dosis de varios sieverts.

La mayor parte de los trabajadores que participaron en la recuperación del sitio y las personas que vivían en los territorios contaminados recibieron en promedio dosis del mismo orden de magnitud de aquellas debidas a la radiación natural.

Para las 116.000 personas evacuadas de las zonas más contaminadas, el promedio de dosis recibidas fue de 30 mSv, o sea aproximadamente diez veces más del promedio de la dosis que recibe anualmente la población mundial.

Los que permanecieron en zonas menos contaminadas de la ex Unión Soviética tuvieron en los primeros 10 años después del accidente un aumento de aproximadamente un 30% de la dosis normal.

En Europa, con excepción de la ex Unión Soviética, las dosis máximas debidas a Chernóbil fueron de 1 mSv en el primer año después del accidente y bajaron progresivamente en los años siguientes. Este valor es comparable al de la dosis que se recibe en un año debida a la radiación natural y por lo tanto no tiene significación desde el punto de vista radiológico.

Las dosis promedio recibidas por los residentes de las zonas afectadas por Chernóbil son por lo general menores que aquellas que reciben permanentemente las poblaciones que viven en zonas de alta radiactividad natural en países como Brasil, China, India e Irán. En algunas zonas de estos países las dosis naturales anuales pueden alcanzar los 25 mSv.

LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA

En la descripción de las consecuencias de la irradiación en la salud de la población conviene distinguir entre los efectos agudos y los efectos a largo plazo.

En el accidente de Chernóbil, los efectos agudos de las radiaciones produjeron la muerte de 28 personas, en centros asistenciales, poco tiempo después del accidente. Por causas no atribuibles a las radiaciones murieron tres personas más en el curso o inmediatamente después del accidente: una, a causa de la explosión, otra por un infarto cardíaco y una tercera a causa del incendio.

De las 499 personas inicialmente hospitalizadas, 237, todas ellas del personal de la planta o bomberos, mostraron un síndrome agudo de irradiación. Formaban parte de este grupo las 28 personas que murieron y que se mencionaron anteriormente. Ninguna otra persona, fuera del personal de la planta y de los bomberos, recibió dosis totales de tal magnitud que indujeran un síndrome agudo de radiación. De las 237 personas con síndrome agudo de radiación, 97 habían recibido dosis de entre 2 y 16 Gy y las restantes 140 dosis menores a 2 Gy.

Entre 1987 y 2004 hubo 19 muertes entre los sobrevivientes de la enfermedad aguda de radiación, todas ellas por causas no directamente atribuibles a la

irradiación.

Resumiendo, se puede afirmar que el balance basado en los datos más confiables y verificados, es de 31 muertos en el accidente o inmediatamente después y de 19 muertos adicionales en los 12 años siguientes, entre los que tuvieron un síndrome agudo de irradiación, por causas no directamente relacionadas con la irradiación.

La situación es más compleja en lo que se refiere a los **efectos tardíos** del accidente. Lo que se ha podido comprobar fehacientemente hasta el momento es un aumento del cáncer de tiroides entre las personas provenientes de regiones contaminadas de la ex Unión Soviética. Se ha observado en la última década un incremento real y significativo de este cáncer especialmente en niños y, en menor grado, en adultos.

A pesar de que los datos anteriores al accidente que sirven de base para la comparación no sean totalmente confiables, se puede asegurar con razonable certeza que ha habido un aumento del número de cánceres de tiroides y que este aumento está relacionado con el hecho de haber estado en contacto con isótopos radiactivos del yodo provenientes de Chernóbil. Este aumento parece afectar especialmente a niños que tenían entre 0 y 5 años al momento del accidente y que se encontraban en zonas fuertemente contaminadas con I 131. Bielorrusia es la región donde el aumento ha sido más marcado: la incidencia de cáncer de tiroides pasó de cerca de 0,14 cánceres por 100000 niños por año antes del accidente a 5,6/100000/año en 1995 y 1997, o sea un aumento de aproximadamente 40 veces. En los años siguientes los índices para niños han ido disminuyendo. En el caso de los adultos, los datos de las zonas más afectadas correspondientes a la actual Federación Rusa indican un aumento de casi tres veces para mujeres y de aproximadamente 1,5 veces para varones.

Hasta 2005 se ha registrado la muerte de 15 niños por cáncer de tiroides atribuible razonablemente a los efectos del accidente. Cabe destacar que, detectado y tratado a tiempo, el cáncer de tiroides tiene una tasa de mortalidad baja.

No se ha podido comprobar fehacientemente ningún aumento perceptible de otros tipos de cáncer, aunque es posible que dadas las características de enfermedad, con el mantenimiento de la vigilancia y la profundización de las investigaciones epidemiológicas se llegue a observar algún ligero incremento en los próximos años. La incidencia de leucemia, que ha sido estudiada muy especialmente en los niños que habían sido expuestos a las radiaciones, hasta el momento se ha mantenido constante.

Se han efectuado ejercicios de pronóstico sobre el total de las muertes que podrían ser debidas al accidente de Chernóbil. Ellos indican que, en la peor de las hipótesis, las muertes ya registradas y las que podrían llegar a registrarse en el futuro no sobrepasan las 4000 (por encima de las 100 000 muertes "normales" por cáncer que se esperan para la misma población), todas ellas entre los trabajadores de la central, los liquidadores y los habitantes de las zonas más

contaminadas. Cabe destacar que este valor es sólo el resultado de pronósticos basados en el peor de los escenarios posibles.

No se ha podido observar en forma fidedigna un incremento ni de anomalías congénitas, ni de resultados anómalos del embarazo (nacidos muertos o abortos espontáneos) ni de otras enfermedades atribuibles a los efectos de la irradiación.

Hasta aquí se han mencionado los efectos del accidente de Chernóbil atribuibles a las radiaciones. Sin embargo ha habido un número muy importante de efectos en la población que, si bien provocados por el accidente, no están relacionados con la irradiación.

Uno de ellos, quizás el de mayor trascendencia, ha sido la degradación muy marcada del tejido social que se produjo en las zonas afectadas por el accidente. Esto ha contribuido al deterioro general del bienestar de la población y ha aumentado los efectos del accidente sobre la salud, produciendo tensiones físicas y psicológicas que persisten hasta el día de hoy.

La gravedad de los efectos psicológicos del accidente parece estar relacionada particularmente con la desconfianza de la población a las autoridades, a los políticos y al gobierno, especialmente en lo que se refiere a las cuestiones relacionadas con la energía nuclear. La gente tiene la sensación de que se le ha impuesto contra su voluntad un riesgo que no está en condiciones ni de percibir ni de comprender, agravado por el temor de que la contaminación radiactiva pueda afectar también a sus descendientes. La dificultad de entender las cuestiones relacionadas con la radiación y sus efectos, junto con la incapacidad de los expertos en explicar los fenómenos de manera comprensible han contribuido a incrementar el enojo de la población. La desconfianza de la gente al ver que un accidente que, según lo que se le había dicho, no podía suceder finalmente sucedió, no solamente produjo ansiedad y estrés en la Unión Soviética sino, en menor grado, en casi todo el mundo. Naturalmente, estos efectos se observaron con más intensidad en las zonas que habían sufrido contaminación radiactiva.

El estrés y la ansiedad aumentaron todavía más entre las personas que fueron evacuadas y reubicadas, debido a la fuerte perturbación de las estructuras sociales que sufrió la región afectada por el accidente, a lo que se le agregó, como situación de fondo, la angustia social y económica producida por el comienzo del desmoronamiento de la Unión Soviética, que se produjo en la misma época.

Los síntomas que se observaron con más frecuencia, relacionados con el accidente pero sin ninguna conexión con los efectos de la radiación, fueron, entre otros, dolores de cabeza, depresión, alteraciones del sueño, dificultades para concentrarse y desequilibrios emocionales. Todos ellos parecen estar ligados a las condiciones agotadoras y estresantes a las que habían sido sometidos los habitantes de la región. Algunos estudios muestran también que los casos de estrés y ansiedad se dieron con mayor frecuencia entre la población que había

sido contaminada o que creía haberlo sido.

Los efectos del accidente debidos a las radiaciones han sido estudiados en profundidad desde un principio y siguen estudiándose en sus distintos aspectos de manera continua y exhaustiva. En cambio, solo después de algunos años se ha ido tomando conciencia de los efectos ajenos a la irradiación debidos al importante y prolongado estrés físico y psicológico. Se está llegando a considerar que estos efectos, que han sido clasificados como distonía vegetativa, no son imaginarios y resultan de la tensión tanto social como cultural y psicológica causada por el accidente y por el colapso de la Unión Soviética. Se abre así un nuevo campo de investigación en el cual deberán ser analizados y comparados los efectos de otros desastres naturales y tecnológicos a fin de tener una comprensión del fenómeno más abarcadora.

LOS EFECTOS EN EL AMBIENTE

Los materiales radiactivos acarreados por la "pluma" generada en el accidente se fueron depositando sobre las zonas habitadas y sobre los campos, los bosques y los cuerpos de agua, principalmente en regiones pertenecientes a la ex Unión Soviética.

En 125.000 km² de tierra de las actuales Bielorrusia, Ucrania y Federación Rusa la contaminación con cesio radiactivo superó los 37 kBq(1μCi)/m², mientras en 30.000 km² el estroncio radiactivo superó los 10 kBq(0,27 μCi)/m². De estos suelos, cerca de 52 000 km² estaban dedicados a la agricultura.

La contaminación con isótopos radiactivos de cesio y de estroncio tiene importancia por cuanto estos elementos se incorporan con cierta facilidad a las plantas y por lo tanto contaminan los alimentos vegetales. Como consecuencia también los alimentos de origen animal pueden resultar contaminados si los animales se alimentaron con pasturas contaminadas. La capacidad de incorporación de los radioisótopos a las plantas depende de muchos factores, entre ellos el tipo de plantas, las características del suelo, las formas de cultivo, el clima, etc. En el caso de los alimentos de origen animal, como la carne y la leche, la permanencia de la contaminación dependerá de la vida media biológica del radioisótopo en el cuerpo del animal.

En el caso de contaminaciones accidentales, para prevenir o mitigar la irradiación de la población se suele indicar la paralización inmediata de los trabajos de campo, del consumo de vegetales frescos y del pastoreo de animales. Al mismo tiempo se impone alimentar a la hacienda con forrajes no contaminados. Lamentablemente, en muchos lugares, en Ucrania por ejemplo, estas medidas no fueron introducidas de inmediato, lo que contribuyó al aumento de la dosis recibida por la población.

En todas las zonas contaminadas se han tomado providencias, con distintos resultados, para controlar la contaminación de los productos agrícolas. A pesar de todo aun hoy existen en territorios de la ex Unión Soviética

grandes zonas en las cuales está vedada toda explotación agrícola o ganadera. Hay otras zonas, todavía más amplias, donde se permite el cultivo y la ganadería, pero los alimentos que en ellas se producen están sometidos a controles muy estrictos y su distribución y uso están restringidos.

Es probable que los productos del bosque, como los hongos, las bayas y la carne de caza sigan estando contaminados por un tiempo largo. La contaminación en los bosques ha sido mayor que en otras zonas debido a la capacidad de "filtrado" del aire y retención de partículas que tiene el conjunto de árboles. Por otra parte la estabilidad del suelo de los bosques junto con su alto contenido de sustancias orgánicas hace que se incremente la transferencia de los radioisótopos del suelo a la planta por lo cual es frecuente encontrar altas concentraciones de radioisótopos en musgos, líquenes y hongos.

En otros países europeos ha habido problemas similares debidos al accidente de Chernóbil, aunque de menor entidad. La producción agrícola y ganadera de algunas zonas fue controlada y limitada durante distintos tiempos pero hace ya muchos años la mayor parte de las restricciones fueron levantadas.

El accidente de Chernóbil ha contaminado también los cuerpos de agua de varias regiones, en su mayor parte por la deposición de material radiactivo desde el aire y por el arrastre de efluentes. Como resultado, la exposición de la población se debió ya sea a la ingestión de agua contaminada o, indirectamente, al uso del agua para riego o al consumo de pescado contaminado.

En la actualidad la provisión de agua potable se realiza sin inconvenientes. En cuanto a las aguas subterráneas se estima que en el futuro la contaminación con Sr 90 podría ser un problema en los reservorios aguas abajo de Chernóbil. Asimismo en algunos lagos de las regiones afectadas la presencia de peces contaminados podría persistir por mucho tiempo, debido a la vida media ecológica del radiocesio, que en algunos lagos alcanza a varias décadas.

CONCLUSIONES

El accidente de Chernóbil ha sido el mayor accidente en toda la historia de la utilización pacífica de la energía nuclear. Un reactor diseñado para doble uso – producción de energía y producción de plutonio para fines militares– explotó a causa de carencias en la cultura de la seguridad de su personal, deficiencias en el diseño, falta de la información adecuada de los operadores y errores de operación. La explosión hizo que materiales del reactor altamente radiactivos, llevados por los vientos, se dispersaran en zonas muy amplias de la ex Unión Soviética y en mucho menor grado en el resto de Europa y en todo el hemisferio Norte.

Áreas extensas de la ex Unión Soviética quedaron contaminadas y todavía hoy tienen restricciones en cuanto a su uso agrícola y ganadero. La contaminación del territorio afectado por el accidente obligó a la evacuación

de un gran número de personas y a su eventual reubicación en otras localidades.

Por causas directamente relacionadas con el accidente murieron 31 personas y 206 personas más evidenciaron síndrome agudo de irradiación. De estas últimas, 19 murieron antes de 2004 por causas no directamente relacionadas con la irradiación y las restantes sobrevivieron.

En la población afectada por el accidente se observa un aumento considerable de la incidencia del cáncer de tiroides, especialmente en los que eran niños en el momento de la catástrofe. Por esta causa, hasta 2005 han muerto 15 personas. No se ha podido comprobar un aumento en la incidencia de otros tipos de cáncer ni de malformaciones genéticas debidas a Chernóbil.

En la población que se ha visto afectada directa o indirectamente por el accidente se observa un número muy grande de alteraciones psíquicas y psicósomáticas que no se pueden atribuir al efecto de las radiaciones.

El estado sanitario de la población interesada se ha visto agravado por la tensión psíquica producida por la catástrofe, a la que se le sumó la destrucción de la trama social generada tanto por el accidente como por las evacuaciones que hubo que llevar a cabo. La desintegración de la Unión Soviética, que comenzaba a hacerse evidente en la misma época, contribuyó a aumentar el desasosiego de los afectados y sus consecuencias psicósomáticas.

PRINCIPALES REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Environmental Consequences Of The Chernobyl Accident And Their Remediation: Twenty Years Of Experience, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', IAEA, 2006*
- *Chernobyl Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts, The Chernobyl Forum (IAEA, WHO, FAO, UNDP, UNEP, UN-OCHA, UNSCEAR, World Bank Group, Belarus, Russian Federation, Ukraine), Vienna 2005.*
- *Chernobyl. Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On, Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development (2002)*
- *The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident. A Report commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO (2002)*
- *Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000, Report to the General Assembly, United Nations, New York, 2000.*
- *One Decade after Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident, Proceedings of an International Conference jointly sponsored by the European Commission, the International Atomic Energy Agency and the World Health Organization, Vienna 1996.*

A 40 años de la inauguración del RA-3: anécdotas, historias y algunas enseñanzas

FEDERICO BRIOZZO – Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología – Universidad Nacional de Quilmes
 SANTIAGO HARRIAGUE – Gerencia de Área de Seguridad Nuclear y Ambiente – Comisión Nacional de Energía Atómica
 MARÍA MÓNICA SBAFFONI – Gerencia de Planificación, Coordinación y Control — Subgerencia Capital Intelectual – Comisión Nacional de Energía Atómica – DOMINGO QUILICI – Gabinete – Comisión Nacional de Energía Atómica

En diciembre de 1967 se inauguró el reactor de investigación y producción RA-3, destinado a cubrir la demanda de radioisótopos de uso médico, pero también implícitamente pensado para acrecentar la capacidad nacional en tecnología nuclear. “Aprender haciendo” fue el espíritu que guió su construcción. La experiencia adquirida permitió luego el diseño y construcción de otros reactores. Hoy, el RA-3 está en Ezeiza... pero vive también en Atucha, Bariloche, Perú, Argelia, Egipto y Australia.

The Argentine research and production reactor RA-3 was inaugurated in December 1967 to cover the national demand of radioisotopes for medical use, but it was also intended to increase the national capacity in nuclear technology. “To learn doing” was the predominant spirit that guided its construction. The experience so acquired soon allowed the design and construction of several other reactors. Today, the RA – 3 not only “lives” in the Ezeiza Atomic Center...but it is also “alive” in the reactors built by Argentina in Bariloche, Peru, Algeria, Egypt and Australia.

El RA-3, ubicado en el Centro Atómico Ezeiza de la CNEA, a 30 km de la ciudad de Buenos Aires, es un reactor de investigación y producción de radioisótopos de tanque abierto alimentado con uranio enriquecido (inicialmente al 90% y desde 1990 al 20%). Luego de sucesivos aumentos de potencia, está licenciado actualmente para operar a 10 MW y suministra la mayor parte de los radioisótopos de uso médico e industrial al país.



Edificio del Reactor RA-3

“El nuevo instrumento no supone un especial avance en cuanto a la tecnología de reactores se refiere, pero sí un paso adelante en cuanto al logro de experiencia propia y al desarrollo de nuestras facultades. Implica también la apertura de nuevos cauces a la industria nacional y un estímulo para su perfeccionamiento, pero sobre todo, implica fe en nosotros mismos”.

Clte. Ing. Oscar Armando Quihillalt, Presidente de la CNEA, (en el folleto de presentación del reactor).



Reactor de investigación y producción RA-3

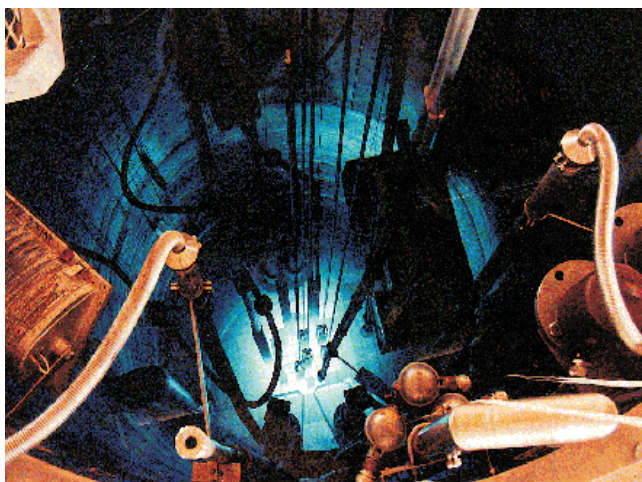
Los reactores de investigación y producción

En Argentina, el diseño, construcción y exportación de reactores nucleares de investigación y producción de radioisótopos representa un caso singular de desarrollo tecnológico. Su continuidad a lo largo de cinco décadas, jalonada por realizaciones en el país y por varias exportaciones, ha permitido alcanzar un alto grado de competitividad internacional.

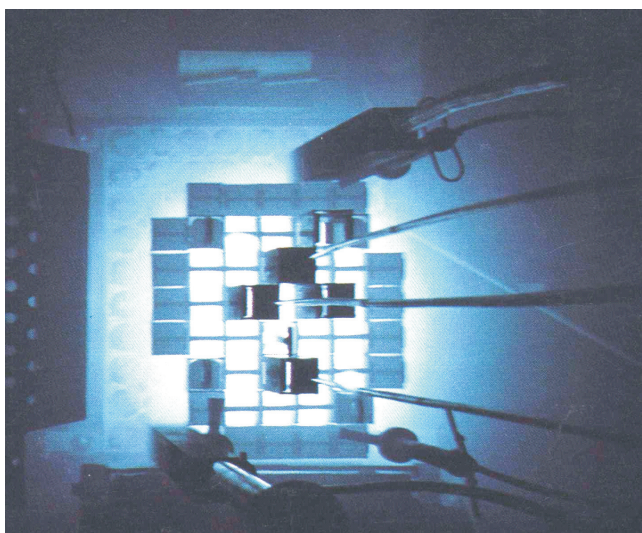
Alrededor de dicha línea de investigación, desarrollo e innovación centralizada en la CNEA, se consolidó una metodología incremental de adquisición de capacidades científicas, tecnológicas y organizacionales,

de construcción de vínculos en el campo de la cooperación internacional y de una red de proveedores locales. De esta manera, se crearon las condiciones de posibilidad para la definición de un programa de desarrollo autónomo de tecnología nuclear, con proyección hacia la competitividad en el mercado internacional y la hegemonía regional.

El presente artículo, forma parte de un proyecto más amplio: historiar el desarrollo de reactores nucleares de investigación en la Argentina como ejemplo de un proceso de aprendizaje continuado a lo largo de 50 años. Dicho proceso llevó a la generación de tecnología endógena con alta especialización, con potencial de exportación en un mundo globalizado y que sustenta otros desarrollos, como el de elementos combustibles, y garantiza autonomía en algunos campos importantes, como la provisión de radioisótopos de uso médico.



Núcleo del Reactor RA-3



Efecto "Cherenkoff" en el núcleo del Reactor RA-3

Antecedentes

La decisión de construir el RA-3 (y la planta de producción de radioisótopos asociada) se encuentra

fuertemente ligada al desarrollo radioquímico de ese momento. En este sentido es oportuno recordar que la primera aplicación de la energía nuclear en el país fue el uso médico de los radioisótopos.

Este fuerte impulso a la medicina nuclear se evidencia en una serie de acciones llevadas a cabo a partir de mediados de los '50, años en los cuales la CNEA desarrolló una amplia actividad de promoción de sus aplicaciones, centrada en cursos dirigidos al sector médico.

En este sentido, en 1952 se crea el Departamento de Biología y Medicina Nuclear y en 1957 la División de Investigaciones Radiobiológicas. Asimismo, se construye el bioterio y los laboratorios de genética y rayos X. En el mismo año se crea el Departamento de Radioisótopos, con el objetivo de administrar el abastecimiento y comercialización de material radioactivo y del estudio y promoción de sus aplicaciones. En este veloz avance, se dicta en 1958 el Primer Curso de Metodología y Aplicaciones de Radioisótopos, así como las normativas legales dirigidas a garantizar la seguridad y protección de profesionales y pacientes (Decreto N° 842/58).

Las necesidades médicas así creadas comenzaron a satisfacerse con la producción de los primeros radioisótopos en un acelerador de partículas (sincrociclotrón), pero las posibilidades de este equipo eran limitadas, y fueron ampliadas posteriormente al comenzar a operar el reactor RA-1 en enero de 1958. No obstante, la demanda de radioisótopos de uso médico se incrementó rápidamente y superó la capacidad de producción, por lo que a fines de 1959 se decidió aumentar la potencia del RA-1, que reinició su producción al año siguiente.

Simultáneamente con los trabajos de repotenciación del RA-1, se comenzó a analizar la construcción de otro reactor de mayor potencia, ya que resultaba evidente que la demanda médica superaría rápidamente las posibilidades existentes. Así, entre fines de 1960 y comienzos de 1961 va tomando forma la idea de diseñar y construir un nuevo reactor de mayor potencia, al cual asociarle una planta de producción de radioisótopos que reemplace la producción a nivel de laboratorio. Nació el Reactor Argentino N° 3.

Fundamentos

La idea de la construcción del RA-3 tomó cuerpo en 1961 con la creación de la Gerencia de Energía a cargo del Ing. Celso Papadópulos y a continuación con el nombramiento del Ing. Jorge Cosentino como jefe del Departamento de Reactores, quien se hizo cargo de la realización del proyecto organizando los grupos de trabajo y dando los lineamientos del diseño.

Si bien el objetivo primario y explícito de construir un reactor de mayor potencia fue aumentar la capacidad de producción de radioisótopos de uso médico e industrial para satisfacer las necesidades de la población nacional, el proyecto RA-3 evidenció un objetivo estratégico que iba

más allá. La decisión de diseñar y construir el reactor en el país, con la industria local, y no comprarlo en el exterior, se basó en los beneficios a largo plazo que llevan implícitos este tipo de obras: expansión de las industrias de base, capacitación tecnológica, investigación científica y técnica, aprovechamiento integral de los recursos naturales. En suma, la modernización del país.

En palabras de Quihillalt:

*“En el proceso evolutivo de la industria nuclear, como en el de cualquier otra gran industria nueva, hay etapas necesarias y obligadas a cumplir, si se quiere alcanzar esa experiencia propia a que nos referimos y que constituye la base de todo progreso. Porque, insistiendo en este concepto, **experiencia es por definición 'práctica y observación', cosas que no se pueden comprar ni pedir de prestado**”.*



Inicio de la construcción del RA-3

La política nuclear argentina se estaba gestando sobre la marcha. Y en esa gesta, la decisión de diseñar y construir el nuevo reactor en lugar de adquirirlo mediante las facilidades ofrecidas por los exportadores, se sostuvo en tres principios básicos: construir una capacidad autónoma de toma de decisiones; cimentar la infraestructura científico-tecnológica requerida para la utilización social óptima de la energía nuclear; y crear un “efecto demostración” que exhibiera que la investigación y desarrollo es posible y puede ser útil a pesar de llevarse a cabo en un país inmerso en una larga y profunda crisis socio-política-económica.

Estos principios constituían la expresión de la ideología del momento, del grupo humano involucrado y de la formación impartida por la CNEA. Se percibió la importancia de contar con un capital de conocimiento, tanto a la hora de desarrollar como a la eventual hora de comprar. Se tuvo visión para aprovechar constructivamente las oportunidades de aprendizaje y se consideró al diseño y construcción de obras nucleares de creciente complejidad una invalorable oportunidad para capitalizar experiencia, habilidades y saberes.

Para que este proceso pudiera conducir a resultados positivos era necesario contar con recursos humanos calificados en desarrollo tecnológico y en ingeniería. La Institución lo había previsto. La adquisición de capacidades que permitieron luego la ejecución de nuevos proyectos fue resultado de la lógica acumulativa y de innovación incremental seguida por la CNEA desde sus inicios.

Innovación incremental

La formación de recursos humanos en la primera etapa de la CNEA tenía características similares en las distintas áreas. A partir de 1951 la CNEA (entonces DNEA – Dirección Nacional de Energía Atómica) convocó a los científicos más destacados existentes en el país en las áreas de Física, Matemática y Radioquímica, sin discriminaciones de tipo político ni exigencias de adhesión al partido gobernante. Se incorporaban jóvenes que cumplieran con un requisito básico: “vocación de hacer”. Los conocimientos específicamente nucleares eran dictados en cursos encabezados por los científicos convocados. Cuando se trataba de disciplinas sin desarrollo previo en el país, eran convocados especialistas extranjeros, o bien la CNEA enviaba a los profesionales a trabajar a un laboratorio extranjero especializado en el tema. En todos los casos, prontamente se asignaban responsabilidades al nuevo personal.

La espiral de acumulación de conocimiento es evidente en determinados campos. Por ejemplo, el montaje y operación del sincrociclotrón había dado lugar a la formación de un grupo de electrónica que luego participó en la construcción del RA-1 y en su aumento de potencia. Fue así que, pocos años después, equipos electrónicos de la instrumentación del RA-3 fueron desarrollados localmente.

De la misma manera, el sector de física de reactores se había iniciado con los primeros cursos dictados a mediados de la década del '50. Su capacidad fue creciendo con la construcción, puesta en marcha y operación del RA-1, con el diseño y operación de la facilidad crítica RA-0 y con la ampliación de potencia del RA-1.



Construcción del edificio del reactor

La metalurgia había nacido con los cursos locales y entrenamientos en el exterior organizados por J. Sábato a partir de 1955. El paso de la teoría a la práctica se efectuó con el desarrollo y fabricación del combustible del RA-1 en 1957. Las modificaciones a dicho reactor y a su combustible, así como las facilidades críticas, marcaron otro camino de acumulación de capacidades en esta área. Asimismo, los conocimientos en ingeniería nuclear se construyeron “on the job”, sobre la base de los cursos de reactores, estadías en el exterior y el carácter creativo de los profesionales participando en obras de complejidad creciente.

La industria *industrializante* y el orgullo de superar obstáculos

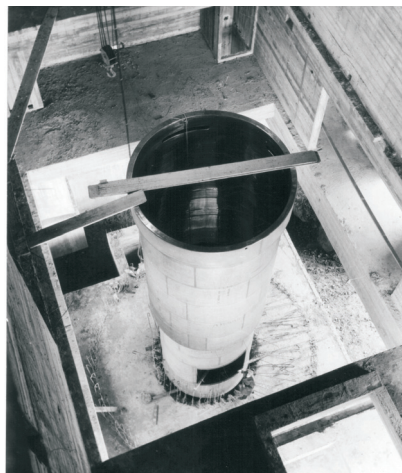
Desde el inicio del proyecto RA-3, la decisión de la CNEA fue que en la construcción y provisión de suministros participaran en todo lo posible empresas locales.

En 1962 se licitaron la construcción del edificio y los componentes mecánicos mayores: el tanque del reactor y los dos tanques de decaimiento. La quiebra de la empresa adjudicataria de la construcción obligó a una nueva licitación, lo que se tradujo en una demora de un año en las obras.

Debido a la estrecha relación que existía con Francia en materia nuclear, el diseño del reactor tuvo un aire francés. Esto no quita que se llevaran a cabo desarrollos tecnológicos relevantes, como ser el diseño de los dispositivos de irradiación, el sistema de control automático del reactor, los monitores de área y el accionamiento y los dispositivos de medición de la posición de las barras de control y corte. Asimismo, se diseñó la consola de control, que fue fabricada por una empresa local. En estos trabajos fue importante la experiencia obtenida por el personal con la construcción del RA-1 y su modificación.

Según lo expresado por algunos actores involucrados en el diseño y la construcción del RA-3 que fueron entrevistados (por ejemplo el Ing. Horacio Huber, primer jefe del reactor quien generosamente compartió con nosotros sus experiencias), el proyecto debió superar varias dificultades. La escasez de personal y sus bajos sueldos parecieron ser también una constante durante ese período, aunque el bajo nivel salarial no motivó alejamientos del núcleo de aproximadamente 15 profesionales y técnicos abocados con exclusividad al diseño y construcción.

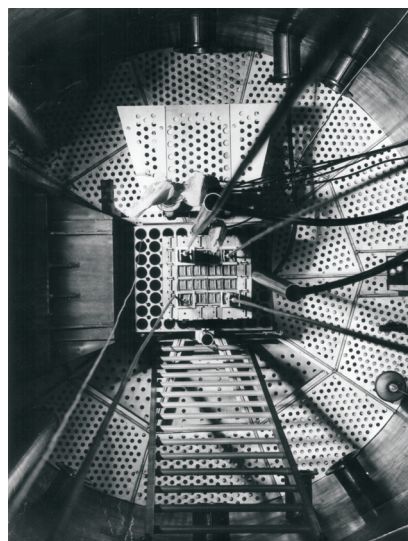
A la hora de releer esta historia, **llama la atención la juventud de los responsables de la construcción:** con un promedio de edad que no superaba los 30 años, tenían a su cargo una obra de magnitud. El responsable de la fabricación del combustible del RA-1 en 1957 tenía 26 años; el jefe del RA-3 y responsable final del proyecto tenía, a su inauguración, algo más de 30. ¿Estará allí la clave que explique por qué –en tiempos de fuga de cerebros– estos investigadores se quedaron en el país? La



Posicionamiento del tanque del RA-3

mística de la Comisión los retuvo, el desafío los apasionó, con la edad que tenían, semejante proyecto... Estaban convencidos de poder lograrlo. **No sólo había una política de asignar grandes responsabilidades a gente joven, sino que éstos respondían ampliamente a las exigencias del proyecto. Y eran todos formados en la Comisión.**

La financiación basada en el presupuesto nacional fue también, como muchas otras veces, una grave dificultad, en un período signado por periódicas políticas de recorte del gasto público. Las restricciones presupuestarias afectaron el ritmo de la obra, que se prolongó tres años más de lo previsto.



Interior del tanque

Pero todas las crisis son también oportunidades de aprendizaje: la experiencia adquirida al respecto convirtió posteriormente al ofrecimiento de completa financiación en uno de los factores de peso en la evaluación de ofertas para la construcción de la primera central nuclear de potencia en Atucha y motivó la búsqueda de otras alternativas para el manejo de los recursos en la construcción de posteriores reactores de

investigación y producción.

El relevamiento de proveedores que se realizó para la construcción del RA-3 fue también un insumo importante para la apertura inteligente del paquete tecnológico que se hizo en Atucha. Muchas de las empresas que participaron de estos procesos tuvieron luego capacidad de crecer, incorporando conceptos de calidad, en ese momento básicos para la industria nuclear, pero relativamente poco incorporados en el sector productivo. Los que fueron contratistas del área nuclear lograron desarrollos que luego aplicaron a otras ramas de su actividad.

En el caso del RA-3, la participación de la industria nacional fue del 90%. El folleto de presentación del reactor dedica de sus 18 páginas, dos completas a listar las empresas argentinas contratadas y en qué rama de actividad trabajaron.

Existieron también inconvenientes con algunos proveedores que tenían niveles técnicos inferiores a los requeridos en una instalación como la que nos ocupa. Por ejemplo, la bomba centrífuga de acero inoxidable para el circuito de refrigeración del reactor no alcanzó el caudal de diseño y se debió realizar una nueva licitación. El equipo del RA-3 bautizó jocosamente a dichas bombas: las llamaban "Esthercita"; como dice el tango, "los hombres te han hecho mal...".

Dificultades de este tipo fueron las que impulsaron la política de desarrollo de proveedores que, aplicada por primera vez en gran escala durante la construcción de Atucha I, se continuó y profundizó en Embalse, alcanzando más de un 50% de participación nacional. Esta política pretendió reducir las incompatibilidades, mejorar la garantía de calidad y poder optar con mayor frecuencia por contratistas nacionales. **La construcción del RA-3 fue un paso más para conocer las capacidades disponibles en el país; el relevamiento fue parte del aprendizaje en esta estrategia de innovación incremental que mantuvo la CNEA desde su nacimiento.**

Ficha técnica del Reactor RA-3

Ubicación:	Centro Atómico Ezeiza (Ezeiza – Pcia de Buenos Aires)
Potencia:	Inicial 5 MW repotenciado a 10 MW
Elementos combustibles:	Tipo placas (MTR)
Enriquecimiento de uranio:	Inicial 90% reducido a 20%
Refrigerante y moderador:	Agua liviana
Flujo neutrónico (máximo):	10^{14} neutrones/cm ² .seg
Facilidades de irradiación:	6 cajas de irradiación, 4 haces horizontales (uno tangencial) y columna térmica
Barras de control:	Cuatro barras de plata indio cadmio (Ag In Cd).

En paralelo con la construcción del reactor, la CNEA diseñó y construyó los elementos combustibles de uranio enriquecido al 90%; dicho material fue provisto por EEUU, en el marco de acuerdos establecidos en 1957 al construirse el RA-1.

A fin de estudiar experimentalmente las configuraciones del núcleo del reactor RA-3, la CNEA diseñó y construyó un conjunto crítico, RA-2, en el Centro Atómico Constituyentes, partido de San Martín. Esa instalación comenzó a operar en 1966.

El 17 de mayo de 1967 se puso a crítico un símil del núcleo del reactor en el RA-2, con el objetivo de verificar la configuración de elementos combustibles. Completado exitosamente el ensayo, se prosiguió aceleradamente con los trabajos necesarios para poder inaugurar el RA-3 en la fecha estipulada: el 20 de diciembre de 1967.



Fabricación de elementos combustibles para el reactor de investigación RA-3

En marcha

El reactor fue inaugurado oficialmente en la fecha establecida, con una potencia de 0,5 MW. Durante 1968 se completaron detectores de radiación y blindajes y el segundo circuito de refrigeración, y en 1969 el reactor comenzó a operar regularmente, a potencia máxima de 2,5 MW.

Garantizar el suministro

La ecuación se invirtió con la construcción del RA-3: los radioisótopos que antes debían importarse comenzaron a ser producidos en el país. Pero quizás la faceta económica no sea la más importante: con el RA-3 el Estado garantiza que el mercado de radioisótopos se mantenga con el abastecimiento adecuado. Se trata, hoy igual que ayer, de una variable crucial en la salud pública.

En 1970 comenzó la producción de radioisótopos y al año siguiente el reactor ya trabajaba regularmente en ciclos de 17 días a la potencia de 4 MW. Incluso se realizaron pruebas a 5 y 6 MW. La producción de

radioisótopos fue 6 veces mayor que la del año anterior.

Gracias al aporte de la mayor capacidad del reactor RA-3 y de los sectores operativos de la planta de producción que los sectores operativos de la planta de producción que reforzaron los viejos laboratorios de radioquímica, 1971 fue el primer año en que la producción nacional de radioisótopos superó a la importación.

Los U\$S 350 mil

A comienzos de la década del '60, como muchos otros países que se embarcaron en el desarrollo nuclear, Argentina recibió el ofrecimiento de un subsidio de U\$S 350.000 del estadounidense "Atoms-for-Peace Program Grants for Research Reactors", para la construcción de un reactor de investigación de 5 MW a ser provisto por General Dynamics. La CNEA respondió que, en lugar de comprar el reactor, lo iba a diseñar y construir, ante lo cual la contraparte estadounidense, uniendo escepticismo a un dejo de apuesta, resolvió que si la CNEA tenía éxito en su empresa, recibiría el subsidio. El acto de inauguración de la primera etapa del Centro Atómico Ezeiza, del cual el reactor RA-3 era la instalación más significativa, evidenció el contexto nacional e internacional del momento. Fue presidido por el Presidente de la Nación, Gral. J.C. Onganía, el Cardenal Primado A. Caggiano, el Gobernador de la Provincia de Buenos Aires Gral. F. Imaz, ministros, embajadores, los presidentes de las Comisiones de Energía Atómica de Brasil, Israel y Chile y el representante de EEUU, L. Saccio. Luego de las alocuciones de Onganía y Quihillalt, Mr. Saccio hizo entrega del subsidio de 350.000 dólares "para la operación del reactor RA-3"... *La apuesta había sido ganada.*

La planta de producción de radioisótopos comenzó a operar regularmente a comienzos de 1973 con 5 celdas de producción. En los años siguientes se incorporaron nuevos recintos estancos dedicados a la producción de otros radioisótopos.

Para dar una idea de la dimensión del problema puede mencionarse que existen en el país cerca de mil centros de Medicina Nuclear que utilizan radioisótopos y radiaciones para diagnóstico y terapia, y cerca de cuatrocientas instalaciones industriales que también hacen uso de ellos. Hace 5 décadas la promoción del uso de los radioisótopos constituyó un aporte a la mejora de la salud de nuestra población. Hoy, garantizar su suministro sigue siendo de vital importancia. Su sustentabilidad se basa no sólo en las instalaciones necesarias y la previsión de su reemplazo al fin de su vida útil, sino también en la amplia red que las alimenta, uno de cuyos elementos fundamentales son las personas que en ella trabajan.

De Ezeiza a Sidney

Esta historia no terminó en el RA-3. En los 40 años posteriores a su inauguración, técnicos y profesionales argentinos diseñaron, construyeron y pusieron en marcha los reactores de investigación RA-6 (Bariloche, 1982), RP-10 (Perú, 1988), NUR (Argelia, 1989), ETRR-2 (Egipto, 1997), OPAL (2007, Australia), además del conjunto crítico RA-8 (Pilcaniyeu, 1997).

En el camino y por el aprendizaje capitalizado, cambiaron modos, aparecieron otros actores. Eso posibilitó que, en medio de profundos cambios en el país y en la situación internacional, no sólo se haya conservado esta capacidad sino que se la haya acrecentado. Argentina es actualmente uno de los pocos proveedores mundiales de estos artefactos de alta tecnología. **Adaptarse a contextos cambiantes, gran respeto por el conocimiento, habilidad para transferirlo... y fe en que se puede...**

Algunos hechos ayudan a comprender lo antes dicho. En 1976, por iniciativa de la CNEA, nace Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado (hoy INVAP S.E.), empresa del Gobierno de la provincia de Río Negro, como ejecutora de proyectos en el área nuclear, controlada por la CNEA y en ese entonces dirigida por profesionales de esa institución. Al año siguiente se le adjudica la construcción del reactor RA-6 de Bariloche, infraestructura para entrenamiento de los Ingenieros Nucleares de la naciente carrera del Instituto Balseiro. Comienza así una transferencia de conocimientos y experiencias hacia la joven empresa.

En 1978 se da otro paso importante: la decisión de exportar, ingresando al mercado internacional. La CNEA obtiene el contrato para construir el reactor RP-10 y un centro de investigaciones nucleares en Perú, primer caso en el mundo de exportación nuclear relevante Sur-Sur, y gestiona los instrumentos legales que le permiten encarar un proyecto fronteras afuera.

A partir de ahí INVAP toma la posta de la exportación, siempre con el respaldo técnico de la Comisión. La metodología iniciada en 1957 de adquisición incremental de capacidades científicas, tecnológicas y organizacionales, jalona el camino que va de Argelia a Egipto, de Egipto a Australia. Tras ganar una competencia con los "grandes", INVAP construye en Sidney el OPAL, un reactor de investigación y producción de última generación inaugurado en Abril del 2007.

Y mientras Argentina participa en licitaciones internacionales, se hace mantenimiento a los reactores, se los actualiza, se piensa en cómo deberá ser el reemplazo del RA-3. **Esta historia continúa ...**

¿Otros tiempos?

Desde el punto de vista técnico, el comienzo del desarrollo nuclear fue muy acelerado en el mundo. En diciembre de 1942, Fermi había logrado la primera reacción de fisión nuclear en cadena en la artesanal pila de Chicago; menos de dos años después, operaba en Hanford, EEUU, el reactor B con una potencia de 250 MW, y en 1954 comenzaba a operar la primera central nuclear de generación eléctrica en Obninsk, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Argentina apreció la oportunidad muy tempranamente.

Contexto local

Las características distintivas de las primeras dos décadas del desarrollo de la actividad nuclear en el país, en los que se planeó y construyó el RA-3, fueron la búsqueda de autonomía tecnológica como ideología dominante y un contexto socio-político y económico altamente cambiante.

Industrialización por sustitución de importaciones, desarrollismo, modernización de la estructura productiva, todo en un contexto imbuido por un importante grado de nacionalismo y búsqueda de liderazgo regional. Parece oportuno citar aquí a J. Sabato, uno de los protagonistas de ese período de la Comisión.

“Es posible establecer una definición operacional de capacidad tecnológica autónoma para un país subdesarrollado: se trataría de su capacidad para definir, establecer y controlar la mezcla tecnológica (tecnología nacional–tecnología importada) más apropiada y conveniente para satisfacer una determinada demanda.... Para que sea posible lograr una mezcla tecnológica, será pues imprescindible disponer de una capacidad para producir tecnología nacional, sin la cual sería ilusorio pretender controlar el flujo y lograr autonomía.”

La estrategia desarrollada en la Comisión resultaba por lo tanto coherente con ideas de gran peso en la sociedad y con el proceso de institucionalización y crecimiento del sector científico-tecnológico. Nacieron también, entre otros, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA), al tiempo que se fortalecía la investigación en las universidades nacionales. Cabe destacar la continuidad institucional de la CNEA, con un mismo presidente durante casi 18 años, periodo en el cual se sucedieron ocho presidentes de la República.

Contexto internacional

En el área nuclear, el contexto internacional de ese período estuvo signado por la política de “Átomos para la Paz”, lanzada por el presidente de EEUU, D. Eisenhower, en 1953. Era un programa internacional dedicado exclusivamente a la utilización de la energía atómica con fines pacíficos, con el objetivo de asegurar el desarrollo de la investigación mundial en materia de energía nuclear de una forma pacífica y promover la idea de que la cooperación internacional era el mejor modo de regular la proliferación nuclear.

Algunos analistas, como el académico J. Kriege, sostienen que ese país diseñó esta estrategia con objetivos varios, desde imponer la tecnología norteamericana en el mercado mundial, hasta realizar “inteligencia científica”. En la práctica, lograron establecer una presencia nuclear en diversos países, creando en ellos una dependencia de EEUU.

La iniciativa tuvo un enorme impacto internacional y fue determinante para resignificar socialmente una tecnología que a finales de los años '40 estaba íntimamente ligada a la destrucción de Hiroshima y Nagasaki. En el seno de esta campaña, las aplicaciones médicas –empleo de radioisótopos con fines diagnósticos, terapéuticos y experimentales y el uso de la radioterapia profunda en el tratamiento del cáncer, entre otros– contribuyeron a transformar la imagen de la energía atómica ante la opinión pública.

A partir de junio de 1955, la administración Eisenhower comenzó a firmar acuerdos bilaterales donde se aludía, entre otros puntos, al compromiso de proveer reactores de investigación. Proveyeron a los países firmantes información desclasificada sobre el diseño, construcción y operación de este tipo de reactores, además de hasta 6 kg de uranio enriquecido al 20%. Argentina se integró a este programa y firmó un acuerdo de cooperación con EEUU, según el cual este país suministraría uranio enriquecido para las investigaciones desarrolladas en el país. Muchos fueron los proyectos nucleares impulsados entonces en países en vías de desarrollo. Algunos dieron frutos escasos, por diversas razones. Varias instalaciones fueron poco utilizadas y finalmente se clausuraron, debido básicamente a la escasez de recursos humanos capacitados para operar los reactores, o bien, por ausencia de políticas nacionales en el área.

Con el tiempo, Argentina se transformó en una de las pocas excepciones. Podría decirse que hizo un uso inteligente de esta política exterior norteamericana. Consolidó las bases intelectuales necesarias para incorporar localmente estos conocimientos, puestos a disposición con propósitos netamente comerciales, y utilizó ese conocimiento desarrollado para consolidar la realización de innovaciones incrementales.

La política de no proliferación

Para completar este breve repaso al contexto nacional e internacional, cabe aclarar que no hay evidencia fuerte de que la política de no proliferación de las armas nucleares haya afectado las actividades nucleares argentinas durante el período de la construcción de los dos primeros reactores.

Dicha política, que en la actualidad limita el desarrollo de actividades de varias naciones en áreas consideradas sensitivas por los países del primer mundo, nació en la década de 1960 con dos tratados fundamentales: el Tratado de Tlatelolco, creado en febrero de 1967 y que constituyó a América Latina y el Caribe en la primera zona habitada libre de armas nucleares del mundo, y el Tratado de No Proliferación de las Armas Nucleares, firmado en julio de 1968.

Durante el período de construcción de nuestros dos primeros reactores, los problemas de proliferación de las armas nucleares eran una preocupación fundamentalmente de los países del primer mundo. En ellos imperaba un concepto que ejemplifica con sus dichos el ministro de defensa francés en ocasión de la primera explosión nuclear efectuada por dicho país, “o uno es nuclear, o uno no cuenta”.

Las políticas de no proliferación no impactaron de modo concreto y profundo en las actividades de los países en vías de desarrollo hasta la explosión nuclear realizada por India en mayo de 1974. Mostró a las grandes potencias que la capacidad técnica de dichas naciones había sido subestimada. Con determinación y claridad de objetivos, se podía adquirir el conocimiento y los materiales necesarios para desarrollos propios en el área nuclear. La evidencia cambió las reglas del juego a nivel mundial.

¿Y por casa cómo andábamos ?

La política de “Átomos para la Paz”, independientemente de sus propósitos, fue convenientemente aprovechada por Argentina para su estrategia de autonomía tecnológica. Fue la vía para obtener de EEUU los planos para la construcción del RA-1 y el uranio altamente enriquecido, material imprescindible para fabricar el combustible de los reactores de investigación. Sin este suministro probablemente se hubiera dificultado en gran medida el desarrollo nacional de reactores de investigación.

En la época en que se decidió la construcción del RA-3 era, por supuesto, otra la sociedad; desarrollismo reinante y “compre nacional” como bandera. Pensar en proyectos de esta magnitud era coherente con los paradigmas nacionales de la época. En el vocabulario popular, “energía atómica” era sinónimo de “adelanto” y que se hiciera en un país como Argentina indicaba que podía aspirar a ser un país en serio.

En ese contexto, emprendimientos como el RA-3 generaban menos controversias que en la actualidad. Para quienes sabían (y a nadie se le ocultaba) que se estaba construyendo un reactor atómico en Ezeiza, el clima estaba muy alejado de la preocupación; era orgullo lo que se respiraba.

La Nación, Clarín, La Prensa, El Mundo... diarios de la más variada factura, le dieron espacio por decisión propia. La Prensa, dos meses después de la inauguración del RA-3, sacó un suplemento especial del domingo sobre el reactor...



Transporte del tanque del reactor con cartel anunciador y sin custodia

Independientemente de la época y el contexto, a lo largo de los 50 años de historia de desarrollo de los reactores de investigación y producción en Argentina, la mayor parte de las oportunidades tecnológicas y de mercado se aprovecharon inteligentemente. Parecería que siempre hubo alguien que supo ver el camino más adecuado, y esto quizás tenga que ver con la formación: profesionales con vocación de resolver problemas, gente de acción, capacitados en la Comisión Nacional de Energía Atómica.

CNEA AL DÍA

NOTICIAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

(1° de julio al 31 de diciembre de 2007)

Primer Curso de Periodismo Científico del Mercosur

Entre el 23 y el 26 de septiembre se dictó en el Centro Atómico Bariloche el Primer Curso de Periodismo Científico del Mercosur, organizado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva con el copatrocinio de la CNEA y de la Federación Argentina de Trabajadores de Prensa. Participaron en él 43 jóvenes periodistas de medios locales y del Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay y Venezuela. El curso incluyó charlas informativas sobre las actividades nucleares y las formas de divulgación periodística de la ciencia. También se realizaron visitas a las instalaciones del Centro Atómico, al Instituto Balseiro y a la empresa INVAP S.E.

2do. Taller Regional de Reactores Experimentales y 3er. Taller Nacional de Reactores Experimentales y de Producción

La Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario y la CNEA organizaron, con el patrocinio del Organismo Internacional de Energía Atómica, el 2º Taller Regional de Reactores Experimentales y 3er Taller Nacional de Reactores Experimentales y de Producción. El evento se llevó a cabo del 22 al 26 de octubre en la nombrada Facultad, en la ciudad de Rosario. Durante el encuentro profesionales argentinos y latinoamericanos intercambiaron experiencias en materia de reactores de experimentación y producción. Paralelamente se desarrollaron una muestra y una serie de charlas abiertas al público sobre diversos aspectos de la actividad nuclear.

Presencia de la CNEA en la IV Conferencia Panamericana de END

La IV Conferencia Panamericana de Ensayos No Destructivos se celebró en Buenos Aires entre el 22 y el 26 de octubre, organizada por la Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales con el auspicio de la Asociación Internacional de Ingeniería Óptica y el Organismo Internacional de Energía Atómica. El objetivo del evento fue promover la integración de la comunidad americana en proyectos comunes de investigación y desarrollo con el fin de consolidar la cooperación internacional en la aplicación de ensayos no destructivos. Participaron en ella reconocidos científicos nacionales e internacionales de los Estados Unidos, Canadá, Italia, Brasil, España y Francia, y se presentaron más de 130 trabajos de 32 países que abordaron diferentes aspectos de la actividad. La CNEA estuvo presente en la Conferencia a través de la Dra. Marta Ruch, quien expuso los resultados de una investigación sobre análisis y detección de niveles de hidrógeno en los tubos de presión de los reactores de tipo CANDU. En este proyecto, auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, participaron la Argentina, Canadá, India, Corea del Sur y Rumania. En la ceremonia de clausura los expertos argentinos Juan Nicolás Baez y Laura Obrutsky recibieron una distinción por sus años de dedicación a esta disciplina.

INVAP resultó preclasificada para construir un reactor de investigación en Holanda

La empresa estatal rionegrina INVAP S. E., creada en los años setenta por iniciativa de la CNEA, resultó preclasificada para construir un reactor de experimentación en Petten, Holanda. Se trata de un reactor destinado a la fabricación de radioisótopos con fines medicinales y a la irradiación de silicio para semiconductores, entre otros aspectos.

INVAP recibió una convocatoria formal de Holanda para presentar antecedentes y ser incluida en el reducido grupo de empresas que participarán en la compulsa posterior, que incluirá a las más importantes del mundo en el campo de los reactores de investigación. Se estima que el llamado a licitación se hará en el curso del año 2009.

Doble distinción al Dr. Carlos Antonio Balseiro

El 13 de noviembre, la Academia de Ciencias para el Tercer Mundo, con sede en la ciudad de Trieste, Italia, anunció en el curso de su 18 Conferencia General la incorporación de 45 nuevos miembros, entre ellos el Dr. Carlos Balseiro, distinguido investigador de la CNEA y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y docente del Instituto Balseiro. El Dr. Balseiro es bien conocido por sus trabajos en la teoría de la materia condensada, en particular sobre superconductividad. Por otro lado, el 23 de noviembre fue declarado Miembro Honorífico de la Academia Nacional de Ciencias, con sede en la ciudad de Córdoba. El Dr. Balseiro recibió tal distinción en reconocimiento a su dedicación a la ciencia, sus antecedentes científicos y el valioso desarrollo realizado dentro de su especialidad en física. El acto de incorporación tuvo lugar en el Salón de Actos de esa Academia, siendo presentado por otro prestigioso investigador científico de la CNEA: el Dr. Francisco de la Cruz.

El Observatorio Pierre Auger devela uno de los grandes misterios del Universo

En el marco de un Seminario realizado el 8 de noviembre en la ciudad de Malargüe, Mendoza, al que asistió el Gobernador y Vicepresidente electo, Dr. Julio Cobos, los científicos del Observatorio Internacional Pierre Auger, en el que participan activamente investigadores de la CNEA, anunciaron que lograron establecer el origen de los rayos cósmicos. El equipo de científicos de 17 países que participa en el proyecto encontró que las fuentes de partículas de alta energía no se distribuyen de manera uniforme en todo el cielo sino que su origen está vinculado con las galaxias "cercanas" que poseen núcleos activos. Se estima que esos núcleos activos son alimentados por agujeros negros extremadamente masivos que absorben grandes cantidades de materia.

El Observatorio ya ha registrado casi un millón de cascadas de rayos cósmicos. Sólo los menos frecuentes de ellos, los de mayor energía, llegan a la Tierra sin ser desviados apreciablemente por los campos magnéticos que atraviesan en el espacio interestelar e intergaláctico, lo que posibilita identificar sus potenciales fuentes. Para ello, el Observatorio utiliza un sistema de detección híbrido: detectores de superficie registran el paso de partículas secundarias por el agua hiperpura con que están llenos, mientras que un conjunto de telescopios detecta la fluorescencia del mismo evento al atravesar la atmósfera e interactuar con el nitrógeno. El observatorio Pierre Auger ha detectado dos eventos provenientes de Centauro y otros 18 cuyas direcciones de arribo coinciden con diferentes galaxias cercanas a la Vía Láctea. Esto constituye, en sí mismo, un resultado absolutamente novedoso. La comprobación de que estas partículas se originan en los núcleos de algunas galaxias es de una enorme importancia. Permite resolver un misterio de larga data: el origen de los rayos cósmicos y por, añadidura, acercarnos a la comprensión de los objetos que los crean: los agujeros negros.

Constituye un auténtico motivo de orgullo para la CNEA que este descubrimiento se haya hecho en un observatorio situado en nuestro país en cuyo establecimiento y desempeña un papel trascendente y que en él hayan participado científicos de la Institución.

INSTITUTO BALSEIRO

Asteroide bautizado con el nombre del Dr. Balseiro

El 26 de septiembre, la Unión Astronómica Internacional aceptó la propuesta del Dr. José Lolic, Director del Instituto Balseiro, para que el asteroide 6109 llevara el nombre del creador de ese Instituto, el Dr. José Antonio Balseiro. El asteroide, que fue descubierto el 29 de agosto de 1975 por la Estación Astronómica "Dr. Carlos Cesco" de la Universidad Nacional de Cuyo, se suma así a la lista de otros varios asteroides con nombres de distinguidos científicos argentinos: (4617) Zadunaisky, (2548) Leloir y (2550) Houssay.

Colación de grados

El 26 de diciembre se realizó el acto de colación de grados del Instituto Balseiro. Fue el turno para la 51ª promoción de la Licenciatura en Física, la 5ª promoción de la Maestría en Ciencias Físicas, y la 4ª de la Maestría en Física Médica. Los siguientes egresados recibieron sus diplomas:

En la Licenciatura en Física: Diego Bravo, Néstor Ghenzi, Ignacio Gómez Portillo, Pablo Jais, Leandro Koile, Alejandro Maio, Federico Napolitano y Emiliano Pérez Ipiña. En la Maestría en Ciencias Físicas: Fernando Arizmendi, Alejandro Castro, José Espasandín, Abel Garriz, Edith Losada, Aner Lucero, Gustavo Moreno, Matías Nikilson, Carlos Ordóñez Urbano, Amílcar Osorio, Diego Pérez, Jesús Vega Castillo, Mario Zapata Herrera y Juan José Zárate. En la Maestría en Física Médica: Germán Arenas, Sergio Bustos Carpio, Mario Matos Ortega, Joseph Simón Primo, Yarissa Villarreal Jiménez e Yrina Viatela Sastoque. Además recibieron diplomas por el Doctorado en Física: Florencia Cantargi, Hugo Ferrari, Alejandro Lobos, Santiago Rigamonti y José Vargas; en Ingeniería Nuclear Andrés Etcheparebord y en Ingeniería Liliana Moggi. El Ingeniero Nuclear Federico Andrés Mezio Guanes recibió el Premio "Asociación Argentina de Tecnología Nuclear" que otorga esa Asociación al egresado con mejor promedio de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro.

Egreso de Especialistas en Aplicaciones Tecnológicas de la Energía Nuclear

El 28 de diciembre, en el Salón de Actos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, recibieron sus diplomas como egresados de la Carrera de Especialización en Aplicaciones Tecnológicas de la Energía Nuclear los siguientes profesionales: Gustavo Barrabán, Ing. Industrial (Universidad Nacional de Salta), Julieta C. Sotelo, B. en Ingeniería de Materiales (Universidad Nacional de San Agustín, Perú), Pablo Cagliari, Ing. Industrial (Universidad Austral), Julián Di Césare, Ing. Industrial (Universidad Nacional de Cuyo), Ricardo Garbero, Ing. Químico (Universidad Nacional de San Luis), Santiago Márquez, Ing. (Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco"), Cinthya M. Canzio, B en Ciencias Físicas (Universidad Nacional de San Marcos, Perú) e Inés T. Araoz, Ing. Industrial (Universidad Nacional de Salta).

INSTITUTO SABATO

Nueva Directora

El 1º de diciembre asumió la dirección del Instituto Sabato la Dra. Ana María Monti, después de 14 años de gestión del Dr. José R. Galvele.

INSTITUTO BENINSON

Premian al Instituto

El 20 de diciembre, el Instituto Beninson recibió la distinción MAGNUS, en el marco de la decimocuarta entrega de premios del Programa "Argentina Sociedad Anónima". Este premio se entrega a empresas, instituciones y personas por su actuación destacada en la construcción de la sociedad. La ceremonia de entrega tuvo lugar en la sede de la Universidad Nacional de General San Martín.

MUTUAL CNEA

FONDO COMPENSADOR DE LA ACTIVIDAD NUCLEAR



La Mutual CNEA es el exitoso fruto de la inquietud de un grupo de empleados de la CNEA que, con espíritu solidario, concibió la creación de un fondo compensador que mejorase la situación de jubilados y pensionados de la actividad nuclear.



28 años

1980 - 2008

**14 DELEGACIONES EN
TODO EL PAÍS**

1.644 ASOCIADOS

**COMPLEMENTOS
OTORGADOS**
Jubilatorios 835
Pensionarios 485

**CONSULTE CONDICIONES
DE INGRESO O REINGRESO
EN SU DELEGACIÓN**

BENEFICIOS PARA LOS ASOCIADOS

- Complementos jubilatorios o pensionarios
- Créditos hipotecarios, personales y otros
- Subsidios por casamiento, nacimiento/adopción o fallecimiento
- Descuentos en comercios y hoteles adheridos

MUTUAL DEL PERSONAL DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Administración Central

Tel/Fax: 011-4701-0355 / 5059

11 de septiembre N° 4366/68

C1429BJF – C. de Buenos Aires

mutualcnea@cnea.gov.ar

mutualcnea@tutopia.com

RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

La radiación, la gente y el ambiente: un enfoque general sobre la radiación ionizante, sus aplicaciones y efectos y sobre las medidas que se deben tomar para su uso seguro – 1a Edición

Organismo Internacional de Energía Atómica
Fundación Trabajo, Educación y Ambiente (TEA)
Buenos Aires, 2007
ISBN 987- 23951-0-0
Rústica 20 x 18 cm.
140 pp.

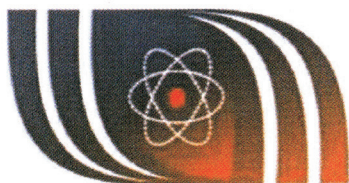


Esta publicación tiene como propósito poner al alcance de la sociedad en general información básica sobre la energía nuclear con el fin de facilitar su aceptación por ella. Contiene un enfoque general sobre la radiación ionizante, sus aplicaciones y efectos, así como también sobre las medidas que resulta necesario adoptar para garantizar su uso seguro.

A lo largo de sus capítulos se describen en forma simple los conceptos de radiación y materia, el efecto de las radiaciones, el sistema de protección radiológica, el uso de la radiación en la medicina, la contaminación ambiental, la generación nucleoelectrónica y la gestión de los desechos radiactivos, entre otros.

La Fundación TEA, en cumplimiento de sus objetivos estatutarios y con la autorización del Organismo Internacional de Energía Atómica, pone a disposición de la comunidad este volumen con el fin de aportar herramientas esclarecedoras para el debate de las particularidades asociadas al uso de la energía nuclear, en especial, y de las energías alternativas, en general, en relación con el desarrollo humano y la protección del medio ambiente.

Publicación muy didáctica y recomendable como introducción al conocimiento de esta actividad que complementa la escasa literatura existente en español sobre la materia.



NA•SA NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A.

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA fue fundada el 7 de septiembre de 1994 con el propósito de constituirse en uno de los actores claves del Mercado de generación eléctrica en la Argentina. Cuenta para ello con las Centrales Nucleares Atucha I y Embalse, las cuales se encuentran en operación desde 1974 y 1984 respectivamente. Además, tiene en construcción la Central Nuclear Atucha II.

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA es una empresa comprometida con la generación de energía nucleoelectrónica en forma segura, eficiente, competitiva y limpia. Estos valores son los que guían su actuación en el Mercado Eléctrico Mayorista Argentino, uno de los más desregulados y competitivos del mundo.

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A.

Arribeños 3619 Buenos Aires . Argentina - (C1429 BKQ)
Tel. (54 11) 4701-1643/8514/4651 - Fax (54 11) 4701-0401
Info@na-sa.com.ar - www.na-sa.com.ar

**EMPRESAS Y FUNDACIONES DEL SECTOR NUCLEAR ARGENTINO
ASOCIADAS O VINCULADAS CON LA CNEA**

COMBUSTIBLES NUCLEARES ARGENTINOS S.A. (CONUAR)

CONUAR fue creada por Decreto N° 1719/81. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde el 33,33% a la CNEA y el 66,67% restante a la empresa privada SUDACIA S.A., estando su planta de producción en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene como objetivo producir, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, elementos combustibles para el abastecimiento de las centrales nucleoelectricas y de los reactores de investigación argentinos. Su dirección es Avenida del Libertador 8250 (1429) Buenos Aires – Argentina Teléfono: (54 – 11) 4704 – 1308 – Fax: (54 – 11) 4704 – 1308 <http://www.cnea.gov.ar>

DIOXITEK S. A.

DIOXITEK fue creada en 1996 por Decreto N° 1286/96. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde en un 99% a la CNEA y el 1% restante a la provincia de Mendoza. Su objetivo inicial fue garantizar el suministro del dióxido de uranio que se utiliza en la fabricación de los elementos combustibles para las centrales nucleares de potencia. En 2002 incorporó a su actividad la producción y comercialización de fuentes selladas de cobalto 60 para uso medicinal e industrial. Su planta de producción de dióxido de uranio se encuentra en la ciudad de Córdoba y la planta industrial de elaboración de fuentes selladas de cobalto 60 en el Centro Atómico de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Su dirección es Avenida del Libertador 8.250 (1429) Buenos Aires – Argentina Teléfono: (54 – 11) 4704 – 1035/1236 Fax: (54 – 11) 4704 – 1043

EMPRESA NEUQUINA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA S. E. (ENSI)

ENSI fue constituida el 21 de diciembre de 1989 entre el Gobierno del Neuquén y la CNEA. Es una sociedad del estado neuquino cuyo capital accionario corresponde en un 51% a dicho estado y un 49% a la CNEA, y su sede se encuentra en la localidad de Arroyito de la citada provincia. Su objetivo principal es operar plantas químicas a escala piloto e industrial y elaborar y comercializar productos químicos. Por contrato con la CNEA se hizo cargo de la operación industrial de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) situada en la citada localidad de Arroyito. ENSI, además, presta servicios de ingeniería a empresas dedicadas a la producción de petróleo, gas y energía eléctrica que operan en la región. Su dirección es Ruta Nacional 237 Km. 1278 Arroyito (8313) Neuquén – Argentina Teléfono: (54 – 299) 440706/440411/440572 Fax: (54 – 299) 440534

FABRICA DE ALEACIONES ESPECIALES S.A. (FAE)

FAE fue creada por Decreto N° 1088/86. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde un 32% a la CNEA y el 68% restante a la empresa CONUAR S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene por objetivo la producción, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, de vainas y semiterminados de zircaloy 4 para la fabricación de elementos combustibles para reactores de potencia y la producción de tubos de acero inoxidable y aceros especiales de alta calidad. Su dirección es Avenida del Libertador 8250 (1428) Buenos Aires – Argentina Teléfono: (54 – 11) 4704 – 1308 Fax: (54 – 11) 4704 – 1308 <http://www.cnea.gov.ar>

FUNDACIÓN CENTRO DE DIAGNÓSTICO NUCLEAR (FCDN)

La FCDN constituye un emprendimiento conjunto de la CNEA y la FUESMEN con el objeto de dotar al conglomerado bonaerense de un centro de última generación de diagnóstico por técnica de emisión de positrones (PET), fue creada el 14 de diciembre de 2004 y su Centro de Diagnóstico Nuclear fue inaugurado el 23 de mayo de 2007. Su dirección es Avenida Nazca 3449 (1429) Buenos Aires – Argentina Teléfono/Fax: (54 – 11) 4566–7597 E-mail: info@fcdn.org.ar <http://fcdn.org.ar>

FUNDACIÓN ESCUELA DE MEDICINA NUCLEAR(FUESMEN)

La FUESMEN fue creada por convenio suscripto el 21 de diciembre de 1990 entre la CNEA, el Gobierno de Mendoza y la Universidad Nacional de Cuyo, con el objetivo de desarrollar actividades científicas, docentes y asistenciales en un marco de excelencia técnica y humana en el campo de la medicina nuclear y el radiodiagnóstico. Su dirección es: Garibaldi 405 (M5500CJI) Mendoza – Argentina Teléfono: (54 – 261) 4201615 Fax: (54 – 261) 4203288 E-mail: info@fuesmen.edu.ar

INVAP S. E.

INVAP fue creada por Decreto del Gobierno de Río Negro N° 661/76. Es una empresa de tecnología cuyo capital accionario corresponde en un 100% al estado rionegrino, estando vinculada a la CNEA mediante un acuerdo con la referida provincia. Su sede se encuentra en la Ciudad de Bariloche. Su objetivo estatutario originales servir al desarrollo nuclear argentino, aunque más tarde ha extendido sus actividades a otros campos tecnológicos como el aerospacial. Se dedica principalmente al desarrollo y construcción de reactores de investigación e instalaciones nucleares de todo, así como también de sistemas de aplicación médica y científica. Además, participa en el desarrollo y la construcción de satélites. Su dirección es Francisco Perito Moreno 1089 San Carlos de Bariloche (8400) Río Negro – Argentina Teléfono: (54 – 2944) 422121 Fax: (54 – 2944) 423051 <http://www.invap.com.ar>

POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES S.A. (PTC)

El PTC fue creado por Decreto N° 894/98 y está constituido por la asociación de instituciones de desarrollo tecnológico con capacidades distintas y complementarias (CNEA, Universidad Nacional de General San Martín, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas y Servicio Geológico Minero Argentino), radicadas en el área geográfica vecina al Centro Atómico Constituyentes, provincia de Buenos Aires. CNEA es poseedora del 20% del capital accionario, así como cada uno de los estantes integrantes. El PTC tiene por objeto prestar servicios en las áreas de la investigación y el desarrollo tecnológico cuando ellos requieran complementar las respectivas capacidades de sus integrantes. Su dirección es Parque Tecnológico Miguelete – Edificio 1 Avda. General Paz (entre Constituyentes y Albarellos) (1650) San Martín – Pcia. de Buenos Aires – Argentina Teléfono/Fax: (54 – 11) 754 – 4070 – <http://www.cnea.edu.ar/polo>



**COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**



**AV. DEL LIBERTADOR 8250
C1429BNP - C. DE BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL: 4704-1215
REVISTA@CNEA.GOV.AR
WWW.CNEA.GOV.AR**