

8

capítulo

Tareas científico-tecnológicas

Las actividades científico-tecnológicas están orientadas a la obtención de criterios y metodologías para que el ENREN pueda evaluar, por sí mismo y de manera independiente, la seguridad nuclear, la protección radiológica de los trabajadores y del público, la seguridad radiológica de las fuentes de radiación, las salvaguardias nacionales e internacionales, y los aspectos de protección física de los materiales e instalaciones nucleares.

Una fracción del personal del ENREN está dedicado al desarrollo de estas actividades, en las instalaciones que el mismo posee en el Centro Atómico Ezeiza (CAE), partido de Ezeiza, provincia de Buenos Aires, con aproximadamente 2000 m² de laboratorios y oficinas.

El Ente mantiene una activa vinculación con instituciones nacionales y extranjeras reconocidas, tales como la Comisión Nacional de Energía Atómica, las Universidades de Buenos Aires, San Juan y Cuyo, el Organismo Internacional de Energía Atómica, el Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica, etc. que refuerzan y enriquecen las actividades científico-tecnológicas que se desarrollan en el país.

A continuación se describen las principales tareas científico-tecnológicas desarrolladas durante el año 1996.

Dosimetría física

La medición por medios físicos de las dosis de radiación recibidas por el público y los trabajadores es de interés primordial en todo el ámbito de la seguridad radiológica.

Es por ello que el grupo de Radiodosimetría del ENREN mantiene una permanente actualización en los temas de medición y cálculo de las dosis producidas por radiación de origen nuclear tales como radiación gamma, electrones y neutrones. Estas radiaciones están presentes en las instalaciones nucleares y en instalaciones médicas e industriales que hacen uso de las mismas. Con el fin de controlar que dichas instalaciones cumplen con los estándares de protección radiológica, es necesario contar con medios y métodos de evaluación de la dosis de radiación exactos y actualizados.

Las actividades desarrolladas para cumplir con dicho objetivo fueron:

◆ Espectrometría de neutrones con detectores gaseosos

Se ha desarrollado un espectrómetro del tipo multiesfera calibrado en haces de neutrones provenientes de fuentes de americio-berilio y californio 252, pertenecientes a este laboratorio. El conjunto se completa con un programa computacional para la deconvolución de la información medida (LOUHI82), adaptado por este laboratorio para su utilización en PC. Este sistema es de aplicación en la evaluación de campos de neutrones de baja tasa de dosis, presente en zonas accesibles para el personal.

Durante el transcurso de 1996 se realizaron, junto con grupos de inspección, evaluaciones del espectro de neutrones en diversos reactores y conjuntos críticos (RA 0, RA 1, RA 4), y en aceleradores de uso médico y de investigación.

◆ Dosimetría de neutrones con detectores pasivos (TLD, cromo 39 y activación)

Se ha avanzado en la calibración de dichos detectores de aplicación en la evaluación dosimétrica del personal y en el estudio de campos de neutrones pulsados.

Se implementaron dos sistemas de detección de neutrones de aplicación en radioprotección. Uno de los sistemas está basado en detectores termoluminiscentes (TLD) y otro en hojuelas de activación de indio. Se calibraron con fuentes en campos de americio-berilio y se simuló las respuestas de ambos detectores en todo el rango espectral, por medio del código denominado MCNP.

Se trabajó en el diseño y construcción de un dosímetro de neutrones de respuesta plana a un amplio rango espectral, basado en el detector de cromo 39. Se desarrolló una metodología de corte del material detector con la colaboración del Centro de Investigaciones Ópticas de La Plata (CIOP).

◆ Mediciones con fines de salvaguardias

Se efectuaron la determinación de la eficiencia y del límite de detección de un sistema formado por detectores gaseosos inmersos en placas para-

lelas de polietileno, para ser posteriormente utilizado, junto con grupos de inspección, en tareas de salvaguardias.

- ◆ Organización de intercomparaciones en dosimetría personal de la radiación gamma

Se participó en la organización de una intercomparación en el tema, a nivel de Latinoamérica en colaboración con el OIEA y la CNEA. El laboratorio realizó las irradiaciones correspondientes a la energía de la radiación gamma del cesio 137 y fue designado para realizar las mediciones testigos con dosímetros termoluminiscentes de todas las irradiaciones efectuadas durante la intercomparación.

Dosimetría citogenética

Las actividades del Laboratorio de Dosimetría Biológica del ENREN tienen como objetivo asegurar la disponibilidad y lograr el mejoramiento permanente de dosímetros biológicos confiables que permitan estimar la dosis en casos de sobreexposición accidental para casos individuales o en gran escala, en forma inmediata o retrospectiva y, para diferentes grados de inhomogeneidad de distribución de la dosis en el cuerpo.

Para dar cumplimiento al objetivo de mejorar las técnicas dosimétricas en uso e implementar nuevas técnicas que incrementen la capacidad operativa del laboratorio durante 1996, se llevaron a cabo actividades de investigación y desarrollo en las siguientes áreas:

- ◆ **Implementación de un dosímetro citogenético** basado en la evaluación de la frecuencia de aberraciones cromosómicas estables, identificadas por distintas técnicas (Bandeo G e Hibridación *in situ* por fluorescencia).

Este dosímetro permite resolver situaciones accidentales de dosimetría retrospectiva (cuando la evaluación se realiza tiempo después de producida la sobreexposición) y existe consenso sobre su potencial aplicabilidad en la estimación de la dosis integrada recibida en condiciones de exposición ocupacional.

A tal fin se procedió a mejorar el ajuste de la curva de calibración desarrollada en el laboratorio para radiación de baja transferencia lineal de energía (cobalto 60) basada en la evaluación de la frecuencia de aberraciones cromosómicas estables identificadas por Bandeo G y se comenzó con la puesta a punto de la técnica de Hibridación *in situ* por fluorescencia.

- ◆ **Análisis de la influencia de distintos factores** tales como edad, sexo y hábito de fumar en las frecuencias de micronúcleos espontánea y radioinducida. La frecuencia de micronúcleos constituye un dosímetro de aplicación en la rápida evaluación de sobreexposiciones accidentales que involucran a un gran número de personas. Con referencia a este

tema se procedió a la evaluación de resultados y presentación del informe final del contrato de investigación con el OIEA (N° 8369/RO/RB).

◆ **Desarrollo de un programa para el análisis automatizado** de imágenes de aberraciones cromosómicas inestables, a fin de incrementar la capacidad de respuesta del laboratorio en estimaciones dosimétricas de situaciones accidentales. Se continuó con el desarrollo de los algoritmos iniciados en 1995, utilizando un equipamiento prototipo de video implementado.

◆ **Estimación de la Eficiencia Biológica Relativa** de distintas calidades de radiación.

Fotones de alta energía: a fin de determinar la aplicación de las correspondientes curvas de calibración para las evaluaciones dosimétricas de potenciales sobreexposiciones con aceleradores de uso médico, se procedió a iniciar un estudio de la eficiencia relativa de fotones de 6 MeV y 15 MeV.

Este trabajo se desarrolla en el marco del contrato de investigación con el OIEA (N° 8369/R1).

Iones pesados: a fin de contribuir al conocimiento de los mecanismos básicos de producción de daño al material genético se inició un trabajo colaborativo con el *National Radiological Protection Board*, U.K., basado en la irradiación de muestras biológicas en el acelerador electrostático TANDAR de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Dosimetría de la contaminación interna

La determinación de la cantidad de material radiactivo incorporada por trabajadores con acceso a fuentes no encapsuladas, es una parte esencial de los programas de monitoreo de áreas correspondientes al ciclo de combustible nuclear, a la industria y a la medicina. El cumplimiento de las normas vigentes en cuanto a la limitación de dosis en trabajadores implica evaluar las dosis que estos reciben por incorporación, ya sea en condiciones normales de trabajo o por causa de un incidente particular. La incorporación, y por consiguiente la dosis, se determina en base a mediciones de actividad retenida en todo el cuerpo, en algún órgano en particular o en heridas, o por el resultado de métodos indirectos como análisis de excretas o mediciones de concentración de actividad en el ambiente de los lugares de trabajo.

El grupo de trabajo dedicado a la dosimetría de la contaminación interna evalúa el resultado de los monitoreos teniendo en cuenta factores tales como las características físicas y químicas de las sustancias radiactivas, el modo de incorporación, los procesos metabólicos y, en algunos casos los parámetros individuales.

Para relacionar las mediciones de la actividad retenida y excretada y la cantidad de material incorporado se utilizan modelos biomatemáticos que describen, en forma aproximada, los procesos reales de distribución del material en el organismo, transferencia entre órganos y excreción. Estos modelos, propuestos por especialistas internacionales son analizados comparando los valores teóricos con las mediciones obtenidas de los monitoreos. De este análisis surgen los coeficientes de dosis, expresados en Sv por Bq incorporado, apropiados para áreas de trabajo específicas.

Durante 1996 se inició una investigación de las prácticas diagnósticas y terapéuticas con yodo 131 en servicios de medicina nuclear, con el objeto de evaluar y efectuar el seguimiento de las dosis recibidas por el personal médico y miembros del público, como consecuencia de la utilización de dicho radionucleido.

Efecto de la irradiación prenatal sobre el sistema nervioso en desarrollo

La exposición prenatal del sistema nervioso central a las radiaciones ionizantes, causa una variedad de efectos, entre ellos, microcefalia, retraso mental grave y disminución del coeficiente intelectual, como ha sido demostrado en diversos sistemas experimentales.

La probabilidad que estas alteraciones aparezcan en humanos, depende de la edad gestacional, siendo máxima si la irradiación se produce entre la 8° y 15° semana de gestación, período en el cual la proliferación y migración neuroblástica es mayor.

El retraso mental severo es el efecto determinístico más importante relacionado con las irradiaciones intrauterinas. De los datos epidemiológicos de los sobrevivientes de los bombardeos nucleares de Hiroshima y Nagasaki, así como de irradiaciones terapéuticas, resulta evidente que el efecto es verificable en un rango de dosis lo suficientemente bajo como para la puesta en marcha de estudios que permitan definir umbrales de dosis.

Los radicales libres, generados por agentes químicos o físicos han sido implicados en la patogenésis de distintas enfermedades neurológicas. El daño radioinducido en el sistema nervioso central (SNC) en desarrollo se asocia con la muerte celular mediada por injuria oxidativa. Por otra parte el óxido nítrico, un mensajero neuronal, ha demostrado un rol en la neurotoxicidad (excitotoxicidad mediada por glutamato).

Con el objeto de evaluar el rol de los radicales libres en el daño radioinducido en el cerebro en desarrollo y su relación con la excitotoxicidad mediada por glutamato se desarrolló un modelo animal de irradiación prenatal con distintas dosis de radiación gamma (cobalto 60). En este sentido, se diseñó un modelo para la determinación de umbrales de dosis utilizando

radiación fotónica durante la vida prenatal en el momento de máxima sensibilidad, equivalente al establecido para humanos. Se trata de un estudio potencialmente aplicable a la radioprotección del cerebro en desarrollo durante la etapa prenatal o postnatal inmediata.

Se irradiaron lotes de ratas Wistar en el día 17 de edad gestacional con dosis comprendidas entre 0,4 y 1 Gy. Las crías fueron sacrificadas el día 3 de vida post-natal. En la última etapa se comenzaron a tomar muestras más tempranas, 24 horas después de la irradiación.

Se midió por espectrofotometría la actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD) y DT-diaforasa en homogenatos de cerebro de animales irradiados y en sus correspondientes controles. Se evidenció un incremento de la actividad de estas enzimas en los animales irradiados, que fue significativo en las muestras del día 3 post natal en los grupos que recibieron 0,7 Gy y 1 Gy. También se determinaron los niveles de dos enzimas involucradas en el metabolismo del óxido nítrico: guanilato ciclasa y óxido nítrico sintasa; observándose un aumento significativo en los grupos irradiados con 1 Gy. Estos resultados sugieren la posible implicación del óxido nítrico y su interdependencia con los fenómenos de estrés oxidativo asociados a la producción de daño neuronal radioinducido.

Se trabajó en forma colaborativa con la Cátedra de Fisicoquímica de la Facultad de Farmacia y Bioquímica (UBA) en la puesta a punto de la técnica de medición del radical ascorbilo y de radicales orgánicos en muestras frescas de cerebro y cerebelo mediante resonancia por *spin* electrónico (EPR). Se realizaron los primeros ensayos en muestras provenientes de controles no irradiados a fin de establecer valores básicos.

Con vistas a completar los estudios se establecieron contactos con el Instituto de Neurobiología del CONICET para precisar aspectos de la técnica de cultivo para células gliales y neuronales. Se realizaron pruebas preliminares (cultivos en miniunidades), para evaluar respuesta a fármacos neuroprotectores.

Se mantiene un contacto regular con el programa de la Comunidad Europea para el estudio del efecto de las radiaciones en el sistema nervioso en desarrollo, particularmente con el Laboratorio de Radiobiología del Centro Atómico de Moll (Bélgica) y con la Dirección de Ciencias de la Vida de la Comisión de Energía Atómica de Francia.

Indicadores diagnósticos y pronósticos aplicables a situaciones de sobreexposición accidental

La irradiación aguda global se asocia a un síndrome clínico de severidad creciente según las dosis: el síndrome agudo de radiación (SAR). El grado de compromiso del sistema hematopoyético, responsable de la renovación continua de las células sanguíneas, es un factor determinante para el pronóstico vital del paciente.

El desarrollo de indicadores biológicos aplicables a situaciones de sobreexposición accidental a radiación ionizante constituye una prioridad para el establecimiento de criterios diagnósticos y pronósticos que permitan diseñar estrategias terapéuticas adecuadas a cada caso.

Las irradiaciones terapéuticas han demostrado ser un modelo válido para el estudio de los potenciales efectos de una irradiación accidental.

Con el objeto de evaluar la aplicabilidad de nuevos indicadores biológicos de daño radioinducido se realizó un estudio secuencial en pacientes sometidos a irradiaciones terapéuticas de cuerpo entero (12 Gy en 4 días), como parte del condicionamiento previo a un trasplante de médula ósea (TMO).

Se tomaron muestras de sangre previas al inicio del tratamiento condicionante (valores basales), muestras diarias durante el tratamiento radiante y muestras secuenciales posteriores al TMO, hasta el alta del paciente. Se evaluaron los siguientes parámetros:

◆ Recuento de reticulocitos por citometría de flujo:

Los reticulocitos son glóbulos rojos inmaduros, cuya presencia en sangre periférica es indicativa de actividad eritropoyética de la médula ósea. Se estudió el comportamiento temporal del porcentaje de reticulocitos mediante el análisis por citometría de flujo. Se determinó un índice de madurez reticulocitaria (IMR), teniendo en cuenta subpoblaciones de reticulocitos con distinto contenido de ácido ribonucleico. Se correlacionaron los resultados obtenidos con la evolución de otros parámetros hematológicos (recuento de granulocitos y de plaquetas). En forma paralela se llevaron a cabo estudios similares en un modelo animal de irradiación de cuerpo entero, ratas cepa Wistar, con dosis de 2 Gy, 4 Gy y 6 Gy.

El IMR se comportó como el indicador más precoz de recuperación de la función medular en 13 de los 19 pacientes estudiados. En relación con los estudios en animales, se evidenció una disminución significativa de los reticulocitos y del IMR 24 horas post-irradiación, con una caída máxima en el día 3 y una recuperación más temprana en los grupos irradiados con 2 Gy. Los resultados obtenidos indican la sensibilidad de este método en

la evaluación temprana del daño medular radioinducido. Asimismo el IMR se evidenció como un indicador útil para el seguimiento de la recuperación funcional de la médula ósea.

◆ Estudio del comportamiento de subpoblaciones linfocitarias:

El estudio de las variaciones radioinducidas en los linfocitos puede contribuir al conocimiento de su radiosensibilidad *in vivo*, así como de la dinámica de su repoblación post-irradiación. En particular resulta de interés el comportamiento de aquellas subpoblaciones con actividad citotóxica comprometidas críticamente con la vigilancia inmunológica. Se estudió la cinética de subpoblaciones de linfocitos mediante la técnica de análisis por citometría de flujo, con utilización de anticuerpos monoclonales para distintos "clusters" de diferenciación: CD3/CD4 (linfocitos T activadores), CD3/CD8 (linfocitos T supresores), CD 19 (linfocitos B), CD 56/CD16 (linfocitos "natural killer": NK) y CD14 (monocitos). Los resultados preliminares evidenciaron una caída más pronunciada y temprana de los linfocitos B respecto de los T, con una mayor abundancia relativa de los linfocitos NK que podría relacionarse con una menor radiosensibilidad.

Con el objeto de evaluar la capacidad funcional de los linfocitos NK, se trabajó en la puesta a punto de una técnica de medición de actividad citotóxica (liberación de cromo 51 en células K562). Se llevaron a cabo los primeros ensayos con muestras de 5 pacientes antes y después de la primera sesión de terapia radiante (3Gy). El escaso número de pacientes no permite aún inferencias válidas.

◆ Evaluación de estrés oxidativo:

La generación de radicales libres ha sido propuesta en la patogenia del daño radioinducido en distintos sistemas biológicos. El desbalance en el equilibrio oxidativo juega un rol en la peroxidación de los lípidos de las membranas celulares. En base a esto, se determinó el nivel plasmático de lipoperóxidos en los pacientes irradiados a través de la reacción con el ácido tiobarbitúrico. Se correlacionaron los resultados con el curso clínico observado en los mismos. Los niveles plasmáticos de el ácido tiobarbitúrico aumentaron significativamente luego de la irradiación en todos los pacientes y retornaron a los niveles basales entre la primera y segunda semana en aquellos que presentaron una evolución clínica favorable, sugiriendo una correlación temporal con el momento de recuperación funcional de la médula ósea.

El presente proyecto fue llevado a cabo en colaboración con el Departamento de Inmunogenética del Hospital de Clínicas "José de San Martín" y la Unidad de Transplante de Médula Ósea del Hospital Naval "Pedro Mallo". Estos estudios forman parte de un contrato de investigación del OIEA (N° 8368/RB).

Programa de asesoramiento médico en radioprotección

En el ámbito de la protección radiológica existen numerosas situaciones en las que se requiere una respuesta médica oportuna y eficaz. Las demandas de asesoramiento responden a situaciones de diversa índole, vinculadas a casos de sobreexposiciones accidentales reales o potenciales, evaluaciones de riesgo en exposiciones ocupacionales, riesgos asociados con aplicaciones médicas de la radiación, exposiciones prenatales, y requerimientos más generales relacionados con los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.

Este programa plantea como objetivo el mejoramiento de la capacidad de respuesta frente a demandas de asesoramiento médico, tanto en situaciones normales como accidentales. A tal fin, se encararon las siguientes tareas:

Constitución de un sistema de atención de pacientes sobreexpuestos:

Se lo concibió como una tarea prioritaria, con el objeto de conformar un sistema alternativo, basado en la integración de un número reducido de instituciones calificadas capaces de responder frente a una emergencia radiológica. Se planteó el objetivo de concretar la firma de Convenios de Cooperación Científica que brindarán un marco para la interacción regular entre el ENREN y las instituciones firmantes (realización de actividades conjuntas de entrenamiento y capacitación, relevamiento de recursos físicos y humanos, planificación y coordinación de las acciones médicas). Se contemplaron las posibles variantes clínicas: irradiación aguda global, irradiación aguda localizada a altas dosis, contaminación interna con radionucleidos y lesiones radiocombinadas.

Se llevó a cabo un relevamiento de las posibles instituciones que reunieran las condiciones apropiadas para el diagnóstico y tratamiento de las distintas variantes clínicas. Se llevaron a cabo para ello visitas a las instituciones seleccionadas y se mantuvieron posteriores reuniones con las autoridades correspondientes a fin de evaluar la factibilidad de la prestación. Se incluyeron en el relevamiento los siguientes Hospitales:

- Hospital Naval "Pedro Mallo"
- Hospital Municipal de Agudos "Juan Fernández"
- Hospital Municipal de Oncología "Marie Curie"
- Instituto Municipal de Quemados
- Hospital de Clínicas "José de San Martín"
- Hospital Británico

Como resultado del relevamiento se acordó iniciar las gestiones tendientes a la firma de los Convenios mencionados con los siguientes hospitales:

- Hospital Naval "Pedro Mallo" : diagnóstico y tratamiento de pacientes sobreexposados con afectación de la función medular.
- Instituto Municipal de Quemados: diagnóstico y tratamiento de irradiaciones agudas a fuertes dosis u otros casos que presenten quemaduras radiológicas asociadas.
- Hospital de Clínicas "José de San Martín": tratamiento de casos de contaminación interna con radionucleidos.

Se presentó una propuesta de convenio con la Armada Nacional, la que fue inicialmente aceptada por la Dirección de Sanidad Naval. Se elevó una propuesta similar a la dirección del Instituto Municipal de Quemados y se está a la espera de su correspondiente aprobación por parte de la Dirección de Salud del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Dichas gestiones se encuentran en marcha, con distinto grado de avance, y se espera poder concretar la firma de los acuerdos durante el próximo ejercicio.

♦ Interacción con servicios médicos de instalaciones relevantes:

Se mantuvieron reuniones con el personal de los servicios médicos de las centrales nucleares de Atucha y Embalse. Se evaluaron aspectos médicos de los planes de emergencia, disponibilidad de fármacos descontaminantes, recursos físicos y humanos. Se brindó asesoramiento respecto de los criterios de selección de centros de derivación de mediana y alta complejidad. Se colaboró en el dictado de cursos de capacitación destinados a médicos generalistas y profesionales del área salud (Círculo Médico de Embalse y Círculo Médico de Zárate).

♦ Elaboración de guías para la acción médica:

Se trabajó en la redacción de protocolos de acción para el tratamiento de personas sobreexposadas. Se concluyó un primer módulo referido al manejo de la contaminación radiactiva externa.

Actividades de los laboratorios de mediciones

La implementación de nuevos laboratorios de medición y el mejoramiento de equipos y técnicas de medición y análisis para responder a las necesidades de las distintas actividades y proyectos fueron objetivos fundamentales desde que el ENREN inició sus actividades. En la actualidad se dispone de sistemas de medición por espectrometría alfa y espectrometría gamma y medición beta, validados a través de intercalibraciones con laboratorios reconocidos internacionalmente; y actualizados mediante el

desarrollo e implementación de nuevas técnicas de medición beta, análisis de espectros, análisis de resultados y modernización del equipamiento existente. Se realizan auditorías regulatorias en los equipos de medición, de instalaciones controladas por el ENREN, y se desarrollan y aplican técnicas de análisis no destructivo con fines de salvaguardias.

Las instalaciones en las que se llevan a cabo estas tareas son:

- ◆ Un laboratorio de espectrometría gamma provisto con dos detectores de Germanio Hiperpuro (GeHp) para la medición de todas las muestras enviadas por los grupos de inspección.
- ◆ Un laboratorio de espectrometría gamma ambiental con 4 detectores de GeHp, cuyos blindajes han sido modificados para bajar el fondo radiactivo y mejorar los límites de detección, y que son utilizados para las mediciones de muestras de aire, precipitación radiactiva (*fallout*), aguas, sedimentos y suelos, alimentos, etc.
- ◆ Un laboratorio de medición por espectrometría alfa y gamma, y contaje beta de muy bajo fondo, con condiciones ambientales controladas equipado con dos detectores de GeHp, un sistema múltiple de espectrometría alfa, un equipo para contaje beta de bajo fondo basado en centelladores plásticos y sistemas de anticoincidencia, y un equipo para contaje alfa y beta también de bajo fondo. En este laboratorio se miden actualmente las muestras provenientes del Sistema de Vigilancia para la Detección Global de Radionucleidos en la Atmósfera (GARDS) y las relacionadas con los desarrollos para los proyectos de monitoreo ambiental para el refuerzo de los programas de salvaguardias.
- ◆ Un laboratorio para mediciones por espectrometría alfa, determinación de actividad alfa total y mediciones por centelleo líquido para muestras provenientes de los distintos proyectos y actividades del ENREN.
- ◆ Un laboratorio para mediciones directas de la actividad retenida en todo el cuerpo o en algún órgano en particular en el que se realiza el servicio de medición al personal del ENREN y otras instituciones y empresas tales como CNEA, NASA y CONUAR S.A.

Las tareas que se llevaron a cabo fueron:

En los laboratorios descritos se realizaron las siguientes mediciones: Contador de todo el cuerpo: 375; Espectrometría gamma ambiental y operacional: 1400 y Espectrometría alfa ambiental y operacional y mediciones beta: 630.

Como parte del programa de garantía de calidad para los laboratorios ambientales, se participó de las dos intercalibraciones anuales para muestras ambientales organizadas por el Departamento de Energía de EE. UU. y el Laboratorio de Mediciones Ambientales de EE. UU. (DOE-EML). Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa con respecto a los obtenidos en 1995.

Desarrollo de técnicas de verificación del inventario de material nuclear en plantas de enriquecimiento de uranio por difusión gaseosa

Este proyecto consiste en el desarrollo de sistemas livianos, y de fácil posicionamiento, para realizar la verificación del inventario de material nuclear en proceso, en plantas de enriquecimiento de uranio por difusión gaseosa, con fines de salvaguardias. El trabajo contempla la capacitación de inspectores del OIEA, ABACC y ENREN en la aplicación de dichas técnicas de medición.

El proyecto es parte del programa de cooperación entre el Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica (DOE) y el ENREN en materia de salvaguardias y está propuesto como tarea conjunta entre ambos países, en el marco del "Programa de actividades soporte para salvaguardias" del OIEA.

En el marco de este programa soporte, se inició una tarea conjunta ENREN-DOE cuyo objetivo es proporcionar al OIEA una metodología para la medición del inventario de material nuclear en la cascada de la planta de enriquecimiento de uranio por difusión gaseosa de la CNEA en Pilcaniyeu (Río Negro). Para llevarla a cabo se realizó, durante el mes de marzo, en el ENREN, una primera reunión con expertos del DOE en la cual se definieron los lineamientos fundamentales de la metodología de medición en base a las experiencias previas que se llevaron a cabo en la citada planta. En una segunda reunión, realizada en diciembre, se confeccionó el primer borrador sobre el sistema de medición, la metodología y el "software" necesario para la medición de la masa de uranio contenida en las barreras de difusión, cañerías y tambores con restos de material de proceso, y se lo entregó a los representantes técnicos de la OIEA. Esta propuesta es el resultado de la combinación de las técnicas aplicadas hasta ahora en las plantas de EE. UU. y en las de la Argentina. Contiene elementos desarrollados, probados y validados en ambos países por lo que resulta ser la mejor técnica disponible en este momento. La calibración se realiza midiendo una fuente puntual en distintas posiciones sobre un eje longitudinal y otro transversal al conjunto detector-colimador y definiendo, a través de ellas, la función respuesta del sistema de medición en un plano que contiene a su eje longitudinal. Integrando esta función en todo el volumen del término fuente se calculan los factores de calibración. Paralelamente, se iniciaron las tareas que complementan la propuesta y son las inherentes a la verificación del instrumental en condiciones de medición en la instalación, la adecuación del software a las necesidades del OIEA y el diseño y construcción de modelos físicos para la validación de los factores de calibración.

Además de los trabajos relacionados con el programa ENREN-DOE-OIEA se está llevando a cabo el desarrollo de una técnica de análisis no destructivos basada en la medición con un detector de Germanio Hiperpuro para la determinación del nivel de enriquecimiento de uranio en el material contenido en recipientes y matrices con alto coeficiente de atenuación.

Como tarea de apoyo al grupo de salvaguardias del ENREN y a los inspectores del ABACC, se participó, con equipos y personal, en la inspección anual para la verificación del inventario de material nuclear en la planta de enriquecimiento de uranio por difusión gaseosa de la CNEA.

Sistema de vigilancia para la detección global de radionucleidos en la atmósfera

En el marco del Tratado sobre Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBT), la Argentina ha prestado su conformidad para integrarse al Sistema Internacional de Vigilancia (SIV), establecido internacionalmente para la detección global de radionucleidos en la atmósfera.

Los expertos internacionales en el tema han acordado la ubicación de diversas estaciones monitoras en Argentina. A saber: tres estaciones de muestreo de aerosoles en aire para la detección de radionucleidos en Buenos Aires, Salta y Bariloche; dos estaciones sismológicas en Coronel Fontana (Formosa) y Ushuaia (Tierra del Fuego) y dos estaciones infrasónicas en Paso Flores (Neuquén) y Ushuaia (Tierra del Fuego). Se aprobó la nominación de la estación de Buenos Aires como Laboratorio Internacional de Referencia para la medición de radionucleidos.

En este sentido, y a través del ENREN, se asumió la responsabilidad de operar las estaciones de medición de radionucleidos, el Laboratorio Internacional de Referencia de Radionucleidos y la instalación de las estaciones de detección por infrasonido.

Por otra parte se ha establecido el compromiso de participar en los estudios tendientes a implementar las tareas que la Red Internacional de Monitoreo de radionucleidos y los Centros Nacionales e Internacionales de Datos, deberán llevar a cabo en el marco de las tareas asociadas con el Tratado sobre Prohibición Completa de Ensayos Nucleares, enmarcadas en la experiencia conocida como Sistema de Detección Global de Radionucleidos en la Atmósfera (GARDS).

Usando tecnología y elementos fabricados en el país, se diseñó y construyó un prototipo para muestreo de aire que cumple con los requerimientos del programa. Este sistema usa como unidad de aspiración un

ventilador centrífugo de la línea de alta presión, que es una máquina de serie, de peso reducido, bajo costo y prácticamente libre de mantenimiento; y un portafiltro con un medio filtrante de 99,99% de eficiencia.

Como parte de estos acuerdos, en setiembre, se inició la participación argentina en el Sistema de Detección Global de Radionucleidos en la Atmósfera mediante la operación de la estación monitorea de Buenos Aires (AR001). Se colectaron, analizaron e informaron al Centro Internacional de Datos (PIDC) 15 mediciones hasta el 31 de diciembre de 1996.

Por otra parte, como Laboratorio Internacional de Referencia, se recibieron para su análisis, muestras remitidas por el Centro Internacional de Datos, recolectadas en la estación de muestras de Kuwait las que mostraron niveles de actividad de cesio 137 superiores al fondo.

Desarrollo de técnicas para la detección de actividades nucleares no declaradas

El objetivo del tema es el desarrollo de técnicas para la detección de radionucleidos contenidos en muestras ambientales tomadas en los alrededores de instalaciones nucleares, que permitan la detección de actividades no declaradas de enriquecimiento de uranio y reprocesamiento, con fines de salvaguardias. Se trabaja en el desarrollo e implementación de las siguientes técnicas:

◆ Técnica para la determinación de yodo 129.

La técnica para la detección de yodo 129 consta básicamente de las siguientes etapas:

- Mineralización alcalina de la matriz ambiental.
- Destilación del yodo de la matriz ambiental y adsorción en carbón activado, en un dispositivo diseñado a tal efecto.

Ambas etapas fueron estandarizadas en agujas de pino, sedimentos y aguas quedando para ensayar aún algunas matrices ambientales como leche y filtros.

En este punto la técnica se divide en dos caminos: uno por medición directa y el otro con activación.

- Para la medición directa se utiliza yodo 125 como trazador y el detector es un GeHp planar. Se miden los rayos x de 27,47 keV y 29,78 keV de yodo 125 y yodo 129 respectivamente.

El yodo retenido en el carbón activado se mide en una botella plástica de 5 cm³ de capacidad, geometría que debe ser calibrada. Actualmente los ensayos que se realizan son con actividades de yodo 125 menores de 40 mBq. El límite de detección del GeHp planar es de 1,8 mBq para 7 días de medición.

- Para la medición por activación se utiliza yodo 131 para estimar el rendimiento de la técnica radioquímica previa a la medición. El yodo destilado retenido en carbón activado y colocado en un envase de polietileno de bajo contenido de sodio se irradia en el reactor RA 3 con un campo de neutrones térmicos. El carbón irradiado se deja decaer de 24 a 48 horas. La desorción de yodo se realiza calentando el carbón a 300°C durante 3 horas y con corriente de nitrógeno. La desorción del yodo a una solución alcalina de hidróxido de sodio se realiza para evitar la interferencia de las impurezas activadas contenidas en el carbón. La solución se mide utilizando el pico de 364 keV del yodo 131 y los picos de 554 y 776 keV de yodo 130. La principal interferencia sigue siendo el bromo 82 proveniente del carbón activado. Se han realizado ensayos utilizando actividades de 40 mBq de yodo 129 y observado los picos de yodo 130 en un detector GeHp coaxial de 25% de eficiencia relativa.

◆ Técnica de detección de partículas de uranio

Continuando con lo realizado durante el año 1995, en primer lugar se trató de determinar el límite de detección del equipo de espectrometría de masas, perteneciente al Departamento de Química Analítica de la CNEA, utilizado para llevar a cabo las determinaciones de uranio. Se analizaron soluciones con distintos grados de enriquecimientos y, en base a las determinaciones realizadas quedó en claro la necesidad de contar con un equipo más sensible debido a las masas a detectar.

Se estudió la posibilidad de utilizar para tal fin el acelerador TANDAR de la CNEA. Se concluyó que en determinadas condiciones era factible utilizar este acelerador para realizar las mediciones requeridas. Por lo tanto, se comenzó con la puesta a punto del mismo y paralelamente se inició la búsqueda de otro acelerador, iniciándose gestiones con la Universidad de Munich (Alemania).

En la instalación local los avances más importantes han sido: lograr la estabilidad requerida en el terminal del acelerador, implementar una rutina de sintonizado y posibilitar el uso de intercambiadores de carga sólidos.

En la instalación alemana, se realizaron mediciones, en virtud de un convenio de colaboración establecido con aquella universidad. Una de las conclusiones más importantes, fue establecer que con una instalación de características similares al acelerador TANDAR se llega a los límites de detección requeridos para medir muestras conteniendo micropartículas ambientales de uranio. Se estudiaron tanto las condiciones óptimas como las condiciones mínimas requeridas para realizar estas mediciones. La

detección de vestigios de platino en los sustratos de óxido de hierro utilizado como soporte de la muestra puso en relieve la potencialidad del método para detectar procedimientos previos en el material analizado.

Paralelamente se ensayó el procesamiento de diferentes tipo de muestras, aprovechando la intercalibración llevada a cabo con el *EML (Environmental Measurements Laboratory)* del Departamento de Energía de EE. UU.

Con el objeto de probar las técnicas propuestas se tomaron muestras de agujas de "casuarina" (similares a las agujas de pino) de árboles lindantes a la descarga de la planta de fabricación de elementos combustibles de CONUAR S.A. en el Centro Atómico Ezeiza, con el fin de poder observar la presencia de uranio natural debido a la operación de una instalación de estas características, ensayando el proceso químico desarrollado y el nivel de interferencia del proceso. Sobre la muestra se realizó un tratamiento de ultrasonido utilizando como medio agua destilada, se separaron las agujas por filtrado, se evaporó y se trató la materia orgánica del filtrado con ácido nítrico y agua oxigenada. Se utilizó uranio 233 como portador y trazador. Para poder ser utilizada como blanco se tomó otra muestra de agujas de casuarina en los alrededores del balneario de Ezeiza, asumiendo que la zona no tiene influencia de ninguna instalación.

También se tomaron distintas muestras de aire en la Planta de Núcleos Cerámicos, para su posterior irradiación y determinación de las zonas del filtro que indicarían la presencia de las partículas de interés.

En base a los resultados obtenidos se ratificó la necesidad de contar con un sistema mucho más sensible, para la determinación de la presencia de las partículas de uranio en los filtros. Para cumplir dicho requerimiento se ha adquirido un equipo de autoradiografía.

◆ Técnica para la determinación de plutonio en suelos por espectrometría alfa

Para la implementación de la técnica de determinación de plutonio en suelos por espectrometría alfa se realizaron pruebas con diferentes mezclas de ácidos (nítrico, clorhídrico y fluorhídrico) en proporciones variables, para lograr altos rendimientos de extracción pero acortando los tiempos de procesamiento.

Se ensayaron diferentes tiempos de agitación con calefacción con posterior filtrado del suelo tratado y separación por decantación y/o centrifugación.

Los resultados obtenidos y la experiencia adquirida en los ensayos de esta etapa de la técnica, permitieron mejorar los rendimientos y acortar los tiempos de procesamiento de muestras para la determinación de plutonio en suelos.

Además se superaron los problemas derivados de la corrosión al trabajar en campanas de extracción de acero, al contar con una campana con revestimiento epoxi resistente al ácido clorhídrico.

Modelos computacionales en seguridad radiológica y nuclear

La seguridad nuclear de las instalaciones relevantes requiere mejorar continuamente la capacidad de evaluación, desarrollando actividades científico-tecnológicas que cubran todos los aspectos de interés. Ello es importante para prever y analizar eventuales situaciones accidentales que pudieran ocurrir en las instalaciones aludidas. Dichas situaciones requieren la formulación y aplicación de modelos computacionales para simulaciones de transitorios y accidentes y el análisis y la evaluación de sus consecuencias, lo cual se realiza en el marco de situaciones hipotéticas u ocurridas.

Esta actividad requiere implementar los programas, conocer en detalle las técnicas numéricas implícitas en los mismos y sus limitaciones, contar con usuarios calificados y bases de datos y nodalizaciones también calificadas para las instalaciones bajo análisis. Por otra parte, las peculiaridades de las centrales nucleares moderadas y refrigeradas con agua pesada como la CNA I, la CNA II y la CNE, hacen necesario desarrollar nodalizaciones particulares, adaptadas a la geometría de las plantas y a los diversos transitorios de interés.

Las tareas deben tender a facilitar la determinación de las incertezas resultantes en la obtención de los márgenes de seguridad de las instalaciones. Los transitorios elegidos no son arbitrarios. Ellos dan cuenta de datos de la instalación (en general no detallados pero sí realistas) que permitirán la verificación de los resultados de la simulación. El empleo de las nodalizaciones para escenarios relevantes surgidos del Análisis Probabilístico de la Seguridad en su primera fase es un objetivo de importancia primaria. Dichos escenarios reflejan situaciones en las que es relevante un análisis detallado de la implicancia de las secuencias de eventos postulados.

♦ Empleo de códigos termo-hidráulicos para evaluaciones de seguridad de plantas nucleares de potencia

Entre los códigos termohidráulicos más difundidos en evaluaciones de seguridad de plantas nucleares de potencia se encuentra el RELAP5. El ENREN ha implementado la versión RELAP5/Mod. 3.2 conjuntamente con un *software* de graficación específica.

Entre las tareas desarrolladas en este tema es de interés mencionar:

♦ La nodalización obtenida para la CNA I, de datos consistentes termodinámica y geoméricamente. Ello ha consistido en una tarea de relevamiento

de información y en su elaboración para su incorporación como datos de entrada, y ha permitido, a su vez, el comienzo de tareas de la simulación de transitorios operacionales. Actualmente está bajo análisis un incidente de pérdida de alimentación eléctrica de las bombas principales del primario.

- ◆ Se ha completado el estudio del efecto de la nodalización en circuitos simples operando en régimen de circulación natural, en colaboración con personal de la Universidad de Pisa (Italia). Este trabajo ha permitido desarrollar una manera interesante de determinar mapas de márgenes de estabilidad de circuitos termo-hidráulicos funcionando bajo el citado régimen y una cuantificación del efecto que tiene sobre dichos márgenes la nodalización utilizada. Debe tenerse en cuenta que este es un modo fundamental de remoción del calor residual del núcleo de un reactor nuclear.
- ◆ Una serie de experimentos para su empleo en la verificación de la capacidad del código RELAP5 para seguir oscilaciones en dos fases que completó el Centro Atómico Bariloche (CNEA). Las tareas de simulación utilizando el código RELAP5 se realizan en el ENREN y seguirán en curso.
- ◆ El trabajo de simulación de los generadores de vapor de la CNA I, con el objeto de reproducir el comportamiento oscilante de los mismos.
- ◆ La participación en las reuniones conjuntas del Programa de Evaluación y Mantenimiento (CAMP) de programas de cálculo termo-hidráulico para la seguridad nuclear de centrales nucleares. Este programa es auspiciado por la *Nuclear Regulatory Commission* de los Estados Unidos y cuenta con unos 50 miembros de quince países. Ello permitió la obtención de una versión mejorada del código RELAP5. Se intercambiaron información sobre los últimos avances realizados en el área y los planes de investigación y desarrollo para el próximo decenio, esto último en relación a los códigos de cálculo y a la experimentación necesaria para su validación.

Otro aspecto que es de interés señalar lo constituyen los resultados obtenidos a partir del desarrollo de métodos y programas para aspectos particulares de las evaluaciones de la Seguridad Radiológica y Nuclear. En efecto, es necesario contar con metodologías de predicción cuyas ventajas y limitaciones sean conocidas con seguridad para su empleo en la evaluación de situaciones anormales.

En ese sentido se continuaron los desarrollos de técnicas de cálculo en tres líneas de interés, a saber:

◆ **Versión 2.0 del Resolvedor de Sistemas Compartimentados**

Se generó una nueva versión, sumamente mejorada, del sistema que había sido desarrollado con anterioridad. Ésta es también ejecutable desde PCs operables con sistemas *Windows*, incorpora clases de objetos, una técnica de resolución mejorada para resolver clases de problemas predefinidos y una interfase gráfica y de cálculo estable y totalmente interactiva, basada en servidores.

♦ Modelos numéricos para el escurrimiento lento de fluidos

El flujo lento de fluidos bajo la acción de la gravedad tiene aplicaciones usuales en el análisis del movimiento de materiales fundidos a posteriori de la degradación de elementos de contención. El flujo en forma de vela y el acomodamiento de materiales muy viscosos sobre capas solidificadas previamente, constituyen ejemplos de importancia, asociados a los accidentes severos.

La aproximación física implica, en algunos casos, considerar un problema fuertemente no lineal y difusivo, lo que provoca la aparición de perfiles de variación abrupta en la superficie libre. Para resolver esta dificultad, se desarrolló una técnica especial libre de oscilaciones numéricas. Como extensión de los resultados antes mencionados, se resolvieron problemas considerando simetría axial e incluyendo la variación de la pendiente sobre la cual se produce el escurrimiento. Las soluciones se han obtenido empleando redes de cálculo variables. Es importante notar que la técnica permite tratar también, como caso particular, el transporte puro de contaminantes en forma muy precisa.

♦ Desarrollo de un simulador de planta para la CNA I

La importancia de realizar análisis de la seguridad de centrales nucleares ha conducido al desarrollo de códigos de computo termo-hidráulicos extremadamente complejos y que brindan información detallada de los parámetros termo-hidráulicos. Estos códigos, sin embargo, no son sencillos de utilizar y son grandes consumidores de tiempo de cómputo. Un caso típico de lo dicho lo constituye la serie RELAP5/MODx.x. En numerosas oportunidades es necesario realizar evaluaciones rápidas de situaciones que suceden repentinamente en las centrales nucleares, y dados la preparación de los datos de entrada y los tiempos de cómputo y análisis de los resultados que exigen los códigos de este tipo, estos resultan prácticamente inviables en su utilización.

En consecuencia, surge la idea de desarrollar simuladores de planta que tengan la capacidad de modelar flujos bi-fásicos, reversión de flujos, estratificación, condensación, evaporación, golpes de presión y circulación natural, en base a modelos simples en su concepción y formulación, que requieran pocos datos geométricos y un mínimo de parámetros termo-dinámicos o de procesos. El desarrollo de un simulador avanzado de planta viene a llenar un vacío entre los simuladores convencionales de entrenamiento y los grandes códigos de cálculo termohidráulicos.

En base a un código de estas características se puede inferir el estado real de la instalación en un momento dado y, conociendo el estado real en que se encuentra la central nuclear, se pueden cuantificar las situaciones de riesgo frente a transitorios originados en operaciones de la misma, tanto en condiciones normales como accidentales. Estas condiciones son las que, en última instancia deben ser admitidas o autorizadas por la autoridad licenciante.

Se cuenta actualmente con los siguientes submodelos de simulación: generador de vapor, líneas de vapor, turbinas de vapor, condensador, bombas, precalentadores por condensación, intercambiadores de calor, tanque de alimentación de agua y válvulas. Por lo tanto, se está en condiciones de integrar el modelo de simulación del sistema agua-vapor de la CNA I, pues se cuenta con la totalidad de los modelos para los diferentes equipos junto con gran cantidad de información geométrica y de procesos de la planta. Estos han sido obtenidos y sistematizados para los estudios detallados, indicados más arriba.

Comportamiento de materiales bajo sollicitaciones térmicas severas

El comportamiento de los materiales bajo sollicitaciones térmicas extremas es de importancia primaria para la determinación de las consecuencias de accidentes graves en las centrales nucleares y en otros sistemas que, si bien son mucho más simples, pueden generar consecuencias sobre el público. El campo de estos estudios es sumamente amplio, dándose a continuación un resumen de los estudios realizados en dos aspectos particulares.

♦ Seguridad en el transporte de contenedores de hexafluoruro de uranio (UF_6)

En el caso de accidentes que involucren incendio durante el transporte de hexafluoruro de uranio, la sollicitación mecánica de los contenedores se origina en la expansión del material por el cambio de fase que puede provocar la rotura hidráulica de aquellos. Ello permite la liberación del hexafluoruro de uranio que, en presencia de la humedad del aire, genera productos de alta toxicidad química. De allí, la necesidad de analizar este tipo de accidente. En la actualidad se han completado los desarrollos de modelos detallados para la simulación de estos accidentes y se han concluido sus verificaciones y validaciones. Como estos programas detallados requieren un esfuerzo computacional importante, es necesario contar con una interfase entre los mismos y modelos más simples, generando correlaciones para su empleo en estos últimos. Los modelos son detallados en lo que hace a la resolución espacial y temporal de la solución. Así, es posible caracterizar la variación temporal de la fracción del material que ha cambiado de fase y la altura del mismo en el contenedor y la de los parámetros termodinámicos del sistema.

Es posible obtener, por ejemplo, la variación de temperaturas en un accidente simulado de un contenedor de hexafluoruro de uranio.

Estos son datos útiles para calibrar los modelos macroscópicos, siendo esta la última etapa del proyecto que se concluirá en mayo de 1997 y que

corresponde al Programa Coordinado de Investigación sobre la Seguridad en el Transporte de hexafluoruro de uranio (CRA 7285/C) que se realiza con el OIEA. Estos estudios han sido desarrollados conjuntamente con personal del Centro Atómico Bariloche (CNEA).

♦ **Comportamiento de elementos combustibles en accidentes severos**

Se ha desarrollado un modelo y el código correspondiente para simular la generación de hidrógeno durante la inundación de un núcleo descubierto que sufre un accidente severo.

Como consecuencia de la asistencia al "First International QUENCH Workshop" que tuvo lugar en Karlsruhe (Alemania, 4-6 de octubre de 1995) se consiguieron datos experimentales recientes sobre la generación de hidrógeno, durante un accidente severo, en el cual el núcleo queda descubierto y para enfriarlo se introduce agua en el mismo. Esta operación denominada de "Quenching" genera una cantidad de hidrógeno extra que los códigos actualmente en uso no pueden calcular. Se ha comprobado con las experiencias CORA (FZK) que la generación de hidrógeno se debe a la oxidación acelerada de las vainas de zircaloy 4 (Zry) justo por encima del frente de inundación. También se comprobó que la inundación produce un enfriamiento rápido del zircaloy 4 generando tensiones entre la capa protectora de óxido de zircaloy 4 y el zircaloy 4 propiamente dicho dejando al mismo al descubierto. Como consecuencia de este fenómeno, el zircaloy 4 queda desprotegido y se reoxida en vapor de agua a alta temperatura. Esta reoxidación genera hidrógeno que parcialmente va a disolverse en el zircaloy 4 metálico y el resto queda liberado al ambiente. El hidrógeno proviene de la descomposición del agua y el oxígeno pasa a formar parte del óxido. Es importante señalar que la reoxidación del zircaloy 4 genera, por ser una reacción exotérmica, una cantidad de calor suplementaria que bajo determinadas condiciones es mayor que el calor residual generado en el núcleo debido a las reacciones nucleares.

En Karlsruhe, se están realizando experiencias de laboratorio con el objeto de entender mejor la problemática de generación de hidrógeno. Con los datos obtenidos de dichas experiencias se ha elaborado un modelo de oxidación durante transitorios con fisuración que permiten simularlas. Los resultados mostraron que se cuenta con un código capaz de simular la oxidación del zircaloy 4 durante transitorios de temperatura en vapor de agua, con el agregado de que el presente código puede simular la oxidación durante transitorios cruzando el ámbito de temperatura de 900 a 1000°C por encima de la cual aparece una nueva fase, la fase β del zircaloy 4. A partir de dicho código y de hipótesis respecto a que las tensiones producidas durante el enfriamiento dan lugar a la formación de fisuras, se introdujeron en el código la formación de las mismas y esto permitió calcular la reoxidación del zircaloy 4 y por ende la generación extra de hidrógeno. Los resultados son satisfactorios y permiten predecir el pico de hidrógeno debido al "quenching" calculado en forma global, es decir, la

cantidad total de hidrógeno, formada por la disuelta en el metal sumada a la liberada al ambiente.

Desarrollos electrónicos de apoyo a las tareas del ENREN

Este proyecto tiene como objetivo brindar el apoyo técnico necesario a las distintas actividades desarrolladas por el ENREN.

A principios de 1995, se iniciaron estudios para la construcción del sistema argentino de sensado remoto. El mismo permite el sensado de variables analógicas y digitales, su almacenamiento y posterior transmisión mediante líneas telefónicas convencionales. El objetivo de este dispositivo es reducir el esfuerzo de inspección con fines de salvaguardias y los costos involucrados en las mismas, reemplazando en un futuro cercano parte de las inspecciones por elementos de vigilancia electrónica. Como este sistema se empleará en el control de materiales nucleares y la transmisión de datos se realizará mediante líneas telefónicas existentes, el dispositivo posee algoritmos matemáticos que garantizan la autenticidad de los datos, asegurando la transferencia de los mismos, aún en presencia de ruido electrónico elevado. Por otra parte, dado que se aplicará a instalaciones existentes, la información primaria se enviará mediante ondas de radio, evitando así el cableado excesivo, disminuyendo la complejidad y el tiempo de instalación. Con referencia a las variables físicas a medir, éstas cubren un amplio espectro, desde la simple posición de un contacto o la integridad de una fibra óptica, hasta imágenes digitalizadas de un depósito de materiales nucleares o escenas completas de una operación del lugar bajo control. Como contraparte de todo el sistema de adquisición, se implementó una estación de interrogación remota que permite la transferencia de información y su almacenamiento e incorporación a una base de datos para el posterior análisis y visualización mediante una computadora personal. Durante el año 1996, se implementó un prototipo industrial del sistema añadiendo al autenticado de la información el encriptado de la misma lo que permite lograr estándares de seguridad elevados. Asimismo, se ha instalado un prototipo reducido del sistema en un depósito de material fisionable del Centro Atómico Constituyentes que se encuentra bajo salvaguardias. Este sistema puede ser interrogado periódicamente desde cualquier computadora, vía módem, conociendo las claves de acceso. Prototipos del sistema han sido también presentados ante las autoridades del DOE (EE. UU.) y el ABACC, como también ante autoridades egipcias relacionadas con el proyecto MPR llevado a cabo por INVAP S.E. Este proyecto se desarrolla dentro del marco de los acuerdos firmados por el ENREN con el Organismo Internacional de Energía Atómica y el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Dentro del Programa internacional de monitoraje remoto, se realizó el seguimiento del comportamiento de un dispositivo desarrollado por el *Sandia National Laboratory* de Albuquerque (EE. UU.). Este dispositivo, instalado en el depósito en seco de elementos combustibles gastados de la CNE, controla electrónicamente los precintos activos de los silos. El sistema fue interrogado desde Albuquerque y Buenos Aires durante 1995 y 1996 determinándose el estado de las variables sensadas y generando una base de datos para su futuro análisis. Estas pruebas apuntan a la caracterización de tales sistemas y su futura validación por parte del ENREN. Asimismo, durante 1996, se realizó el cambio de detectores y baterías del sistema. Dentro del mismo programa se terminó el estudio de prefactibilidad de la instalación de un sistema de seguimiento de elementos combustibles en la CNE.

A partir de julio de 1996 se ha iniciado el estudio de la factibilidad de la construcción de un sistema del sensado de infrasonido dentro del programa de vigilancia del cumplimiento del Tratado de prohibición total de ensayos de armas nucleares y se han seleccionado y obtenido los sensores asociados al sistema. El mismo permitirá la medición y análisis en la atmósfera de señales de infrasonido provenientes de explosiones nucleares. Las características especiales de estos dispositivos permitirán el desarrollo de tecnologías complejas en *hardware* y en *software*.