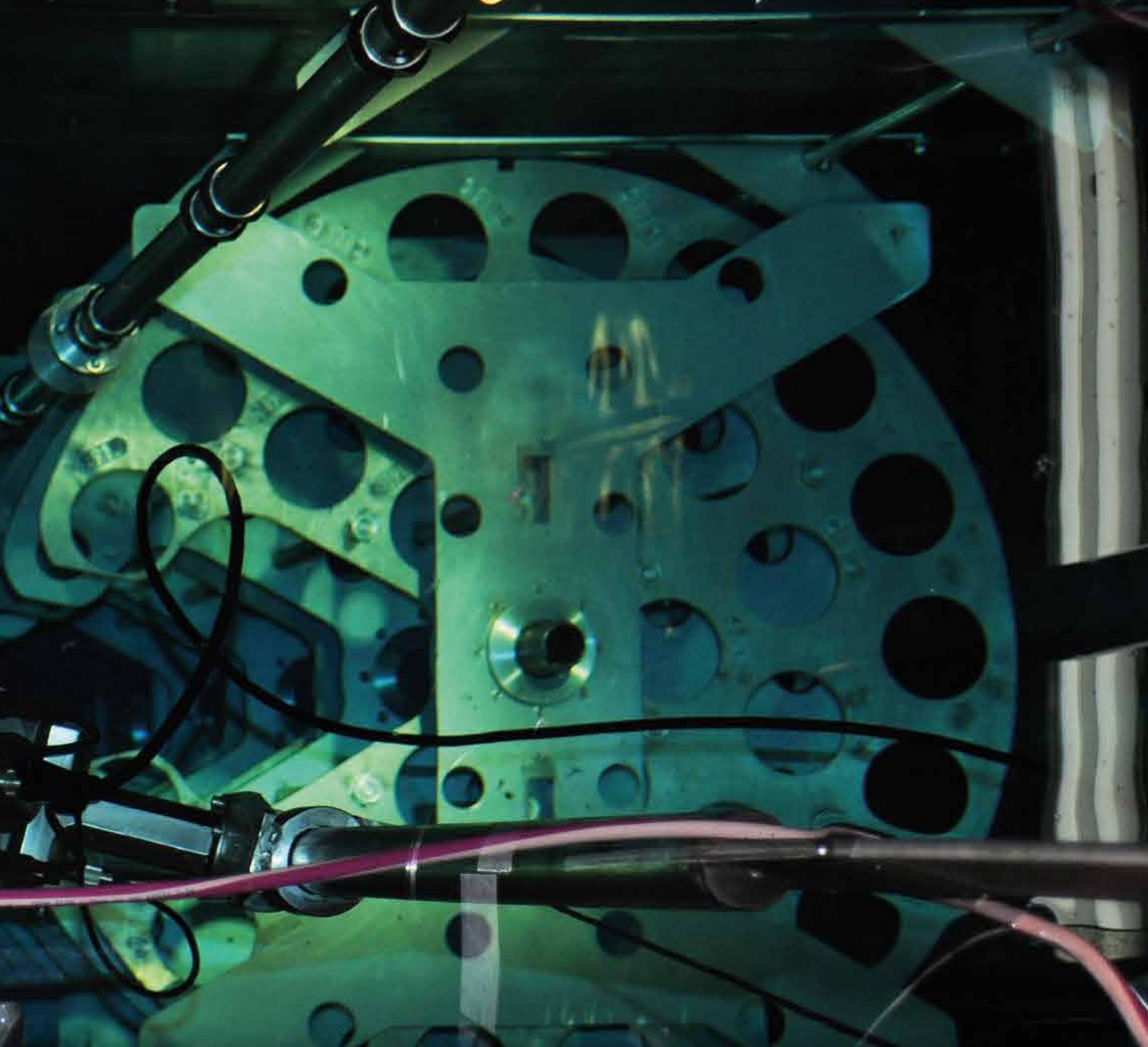


REVISTA DE LA CNEA

UNA PUBLICACIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Año XV - Número 57-58 - Enero- Junio 2015



**FACILIDAD PARA ALMACENAMIENTO DE
COMBUSTIBLES IRRADIADOS
DE REACTORES DE INVESTIGACIÓN**



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 en Word for Window ® y la página será tamaño especial 196 mm. X 275 mm. Los márgenes serán: izquierdo y derecho 1,5 cm., superior 1,9 cm. e inferior 2 cm. El tipo de letra será Arial de 10 pt. No deberán sobrepasar las doce 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 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/o 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 y/o comentarios a que dieran lugar se publicarán en la edición posterior en la sección "Aclaraciones y comentarios".



El Comité Editorial se complace en presentar el número 57/58 de la Revista de la CNEA con el que inicia su décimo quinto año de existencia. Este número presenta cuatro trabajos sobre una variada gama de temas demostrativa de la importancia del desarrollo de la actividad nuclear en el país.

El dramático cambio climático producido principalmente por los gases de efecto invernadero originados por el uso de combustibles fósiles constituye actualmente y desde hace ya varias décadas una de las principales preocupaciones a nivel mundial pues afecta en mayor o menor medida a todas las regiones del planeta. Ello, por otra parte, potencia la importancia de la inclusión de la generación nucleoelectrónica en la grilla energética atento a que - junto con la hidroeléctrica - constituyen las únicas fuentes de generación masiva de energía eléctrica libres de la producción de esos gases. En el primer artículo, una frecuente colaboradora de la Revista presenta un amplio panorama de esta temática: sus causas, efectos y soluciones.

El segundo trabajo trata de la realización permanente de un programa extensivo de monitoreo de sitios de almacenamiento húmedo de combustibles irradiados de reactores de investigación, que abarca no sólo los depósitos de almacenamiento de dichos elementos combustibles sino también los reactores de baja potencia donde los combustibles pueden permanecer por muchos años, con el objetivo de evaluar la posibilidad de que ocurran procesos de corrosión y asesorar a los responsables sobre la mejor forma de evitar la degradación de los combustibles.

Desde el año 2005, en que se organizó el Laboratorio de Conservación Preventiva y Restauración de Documentación (LCRD), y hasta el presente, la CNEA está prestando servicios institucionales y a terceros en esa materia. El objetivo fundamental ha sido y es, el tratamiento utilizando radiación gamma, de documentos y libros valiosos y únicos que hayan sufrido una infección por microorganismos o insectos y están en peligro de pérdida permanente, así como su recuperación, puesta en valor y cambio de soporte mediante la digitalización. Para ese tratamiento se ha investigado en cada caso la dosis y la tasa de dosis correcta de radiación gamma que debía aplicarse al material documental para no producir mayor deterioro. El tercer trabajo da cuenta de esas actividades, desarrolladas y en desarrollo por la Institución.

Los altos niveles de radiación dispersa en la práctica médica intervencionista y el incremento del número y complejidad de los procedimientos pueden conducir a opacidades en el cristalino de los profesionales, si no se utilizan los elementos de protección necesarios. Dichas opacidades presentan ciertas características particulares que permiten asociarlas a la radiación ionizante. El cuarto artículo presenta un interesante estudio realizado al respecto en forma conjunta por profesionales de la CNEA, la Autoridad Regulatoria Nuclear, el Sanatorio Otamendi, el Colegio Argentino de Cardioangiólogos Intervencionistas y el Hospital Oftalmológico Santa Lucía.

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

Reiteramos la invitación a los integrantes del sector nuclear, con prescindencia del organismo al que pertenezcan o hayan pertenecido, y a quienes estén o hayan estado vinculados a la actividad nuclear bajo cualquier circunstancia, que tengan trabajos que deseen difundir, a que los hagan llegar este Comité Editorial.

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
Ingeniera Mariana Matragna

Autoridades Institucionales

Presidente
Licenciada Norma Luisa Boero

Vice-Presidente
Ingeniero Mauricio Bisauta

Gerente General
Doctor Carlos Rubén Calabrese

Comité Asesor

Doctor Carlos Aráoz
Doctor Jim Cronin
Doctor Juan Martín Maldacena

Comité Editorial

Ingeniero Pascual Francisco Aguirre
Capitán de Navío (R) Roberto Mario Ornstein

Diseño de tapa: División Diseños de Contenidos
del Departamento de Prensa

Traductora: Andrea Carolina Cruz

Impresión Torres Aristegui y Asociados
Servicios Publicitarios
SIN: 1666-10



Foto de tapa:
Facilidad de
Almacenamiento de
Combustibles Irradiados
de Reactores de
Investigación - Canasto
de almacenamiento,
Centro Atómico Ezeiza

Sumario

Editorial	3
Cambio climático: causas, efectos y soluciones	5
Programa de monitoreo de elementos combustibles tipo MTR gastados en reactores experimentales, en sitios de almacenamiento interino prolongado en agua	17
LCRD: El guardián de la memoria institucional	26
Estudio RELID 2014 en Buenos Aires Argentina	37
CNEA al día, noticias institucionales	45
Reseñas bibliográficas	46

Nota:

En la página web de la CNEA (www.cnea.gov.ar), en la opción del menú "Comunicación –Publicaciones– Revista de la CNEA", se puede acceder al índice general temático de los artículos publicados en la totalidad de los números de la Revista de la CNEA.

Cambio Climático: Causas, Efectos y Soluciones

Marta H. de Pahissa- Investigadora Consulta- Ex jefe del Departamento de Tecnología de Procesos del Programa de Gestión de Residuos Radiactivos- Comisión Nacional de Energía Atómica.

El objetivo prioritario e indiscutible hoy y la preocupación profunda de los científicos, es la urgencia inmediata de la reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI) para no pasar los 20C de aumento de temperatura global del planeta en el 2050. Las emisiones globales de CO2 están continuamente incrementándose, prediciendo los especialistas efectos catastróficos debidos al cambio climático. Todos estos fenómenos ya están en marcha. El diseño de políticas debe considerarse con mucho cuidado para incentivar las opciones de tecnologías de bajo-carbón. Un componente clave en el mundo es la energía nuclear dentro de los sistemas de generación eléctrica. La energía nuclear es segura, sustentable, económicamente viable y durante la operación de las centrales nucleares no se emiten GEI. Estudios importantes demostraron que la energía nuclear debe ser una parte fundamental de la solución para cumplir con la demanda creciente de electricidad mientras se reducen los GEI. Las energías renovables son también de bajo-carbono pero son energías intermitentes, con el problema del rápido ajuste a la grilla, lo cual requiere del acople a instalaciones de almacenamiento de energía, no disponibles actualmente, o plantas “backup” térmicas a gas las cuales emiten CO2 y están asociadas con emisiones de metano a la atmósfera. Está en desarrollo un “sistema híbrido” en Estados Unidos de características interesantes. Es necesario que durante el uso de combustible fósil se efectúe la captura de CO2, su transporte y disposición final. Se han desarrollado tecnologías, algunas ya en aplicación.

CLIMATE CHANGE: CAUSES, EFFECTS AND SOLUTIONS

It is essential to reduce greenhouse gas (GHG) emissions in order to limit to 20C the increase of the planet temperature by 2050. Global CO2 emissions are continually increasing, and scientists predict potentially catastrophic effects resulting from climate change. Great care is needed in the design of policies to encourage choices in low carbon technologies. Nuclear power is established as a key component of the world's electricity generating systems, which is set to increase. Nuclear energy is sustainable, economically viable and during the operation of nuclear power plants, GHGs are not emitted. They produce reliable base-load electricity. Renewable energy sources, such as wind and solar, are inherently intermittent and backed up by gas-fired power plants, which also release substantial amounts of carbon dioxide equivalent GHG and it results environmentally unacceptable. A “hybrid system” is under development in the United States for integration renewable related with a nuclear steam supply system (the NuScale small modular reactor). On the other hand, during continued use of fossil fuels, CO2 capture, transport and disposal (CAC) are needed to prevent the majority of combustion products reaching the atmosphere.

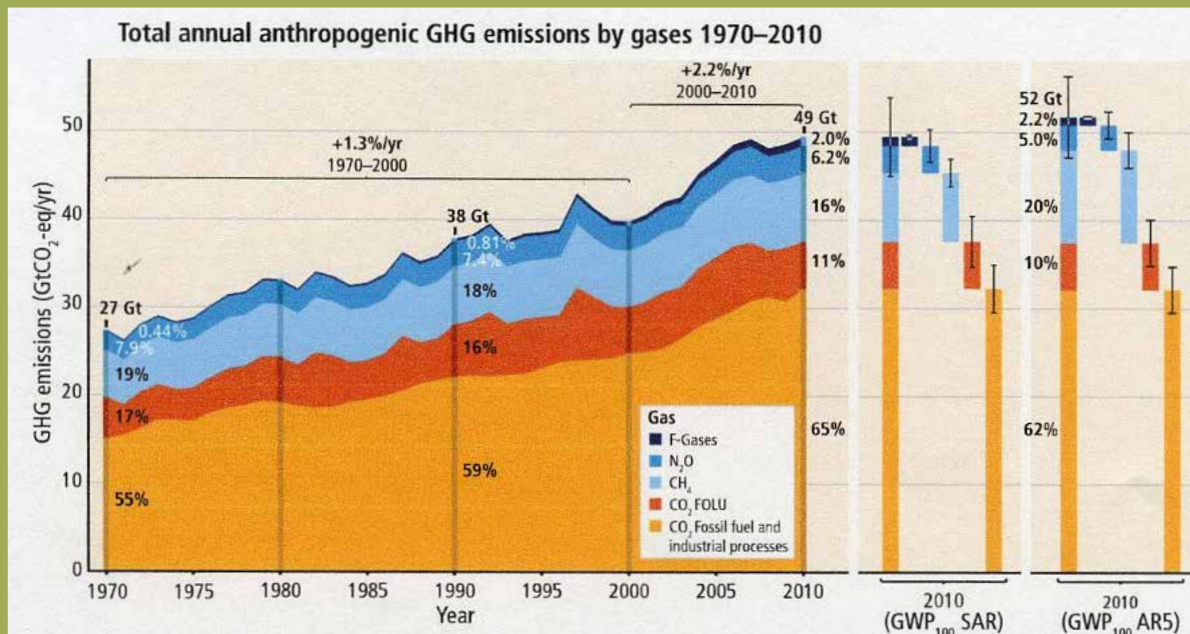
Introducción

Nuestro planeta y todos sus habitantes de hoy y de mañana enfrentan un gravísimo problema a causa del calentamiento global, consecuencia del efecto invernadero.

Es ahora que lo estamos viendo y sufriendo, pero ya hace mucho tiempo que los científicos y tecnólogos vienen pronosticando la crisis de este fenómeno sin que los políticos se decidan a tomar las medidas necesarias para mitigarlo. Sin ir más lejos, el Dr. Jaime Pahissa Campá en el año 1996 cuando ejercía el cargo de Miembro del Directorio de la CNEA, habló de este problema ante la Honorable Cámara de Diputados del Honorable Congreso Nacional, y la respuesta que obtuvo por parte de los Legisladores era que estaba hablando de un tema casi de ciencia ficción.

Causas del Efecto Invernadero

De acuerdo al experto en Climatología, James Hansen de la Universidad de IOWA (EEUU), se ha estudiado en detalle el efecto invernadero durante más de un siglo. Este efecto invernadero está causado por la emisión de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) provenientes de la producción de energía eléctrica (combustibles fósiles); de la utilización de la biomasa en grandes dimensiones; y de las principales industrias emisoras de CO₂ (de producción de cemento, refinerías, siderúrgica, petroquímica, de la producción de gas natural, de la producción de hidrógeno y otras fuentes) (ver figura siguiente).



Total anual de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero 1970-2010

Las emisiones antropogénicas de los gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado desde la era pre-industrial (mediados del siglo XIX) a causa del crecimiento poblacional y del crecimiento económico. Los valores alcanzados en la actualidad

son marcadamente significativos en cuanto a las concentraciones atmosféricas de CO₂, CH₄ y N₂O como gases de efecto invernadero (GEI) que han sido detectados a través del sistema climático y son la causa principal del calentamiento producido (Figura I).

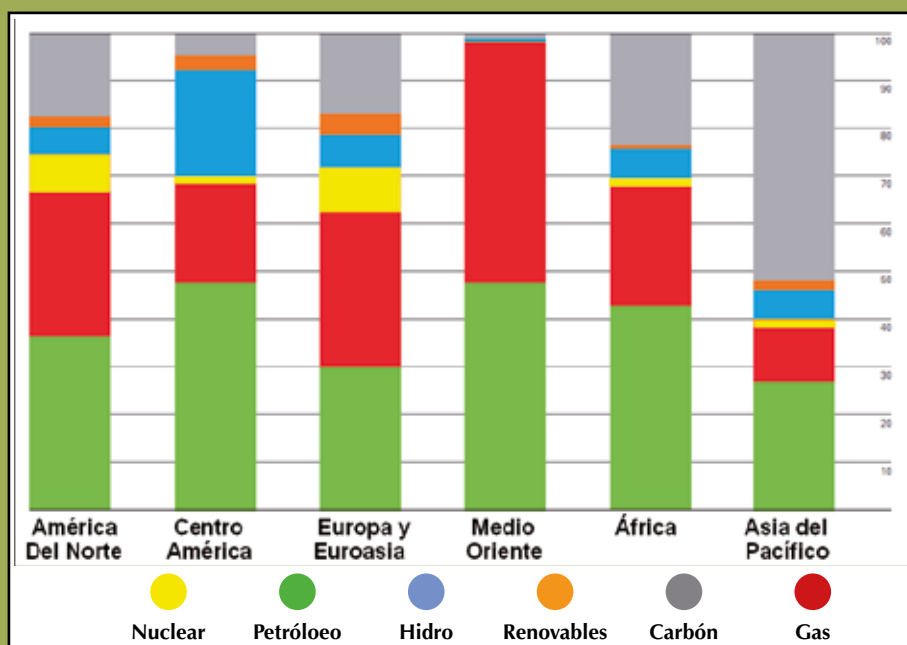


Figura 1: Porcentaje del consumo de Energía Primaria Global

John Tyndall, en la década de 1850, demostró que los GEI dejan pasar los rayos solares y no dejan disipar parte del calor absorbido, ejemplificándolos como una manta que calienta la superficie terrestre, reduciendo la disipación del calor al espacio, produciéndose como resultado un desequilibrio energético: entra más energía que la que sale. En 1981, Hansen et al publicaron en la revista *"Science"* que el aumento de temperatura observado en el siglo anterior de 0.4°C era consistente con el efecto invernadero debido al aumento de CO_2 en la atmósfera; que a finales del siglo XX se excedería ese valor y posteriormente en el siglo XXI habría desplazamientos de zonas climáticas, regiones propensas a la sequía en América del Norte y Asia, erosión de las capas de hielo continentales, aumento del nivel de los océanos, etc.

Todos estos fenómenos ya han ocurrido o están en marcha. Hansen informó estos datos al Congreso de los Estados Unidos y tuvo la oportunidad de hablar dos veces en la Comisión Presidencial, pero lamentablemente el gobierno no tuvo en cuenta su reclamo. A todo esto las emisiones de los GEI han aumentado continuamente a pesar de las políticas de mitigaciones propuestas. Las emisiones en el año 2010 han alcanzado los 40 Gt de CO_2 eq/

año. Las emisiones de CO_2 de la combustión de los fósiles y de los procesos industriales contribuyeron aproximadamente al 78% del total. Hoy, la situación en Estados Unidos ha cambiado. El Presidente Obama recientemente estableció por ley que los Estados Unidos para el año 2025 deberán reducir las emisiones GEI al 30% de los valores actuales.

Efectos

En las tres últimas décadas se ha calentado la superficie de la Tierra mucho más que desde 1850. Hoy el desequilibrio energético total es de unos 0.6 W/m^2 , lo cual integrado a nivel planetario es unas 20 veces mayor que la tasa de energía mundial, debido a la cantidad extra de energía que recibe la Tierra cada día. Indudablemente debe reducirse la emisión de gases de efecto invernadero para restaurar el balance energético.

Las aguas también se calientan. Casi el 90% de la energía en exceso que absorbe el planeta se almacena en los océanos. Desde el 2005, se distribuyeron 3.000 flotadores ARGO en todos los océanos para medir la variación de la temperatura de las aguas (Figura 2).

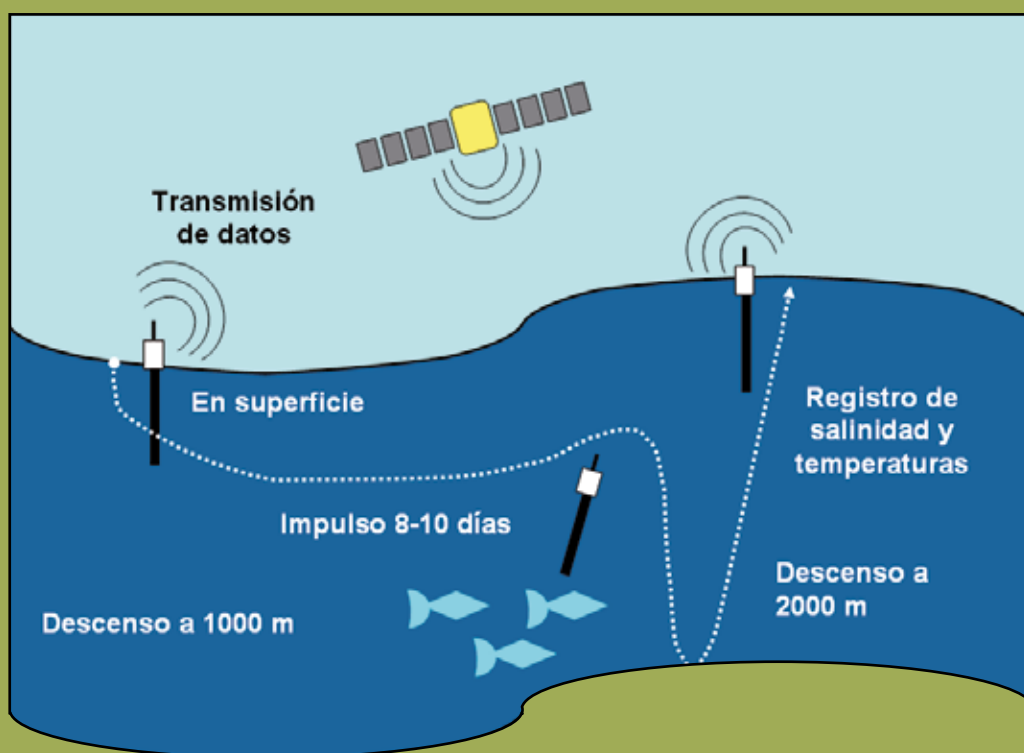


Figura 2: 3000 Flotadores ARGO alrededor del mundo desde el 2005

Los mismos revelaron que la mitad superior de los océanos se está calentando a una velocidad considerable y la parte inferior lo está haciendo a menor velocidad. La energía depositada en el agua va deritiendo los hielos del planeta. El satélite gravitatorio GRACE, reveló que debido al deshielo, tanto Groenlandia (Figura 3) como la Antártida están perdiendo masa de hielo a razón de cientos de $\text{km}^3/\text{año}$. Por otro lado, los glaciares del mundo, especialmente el Totten situado al sur de la isla australiana de Tasmania, están perdiendo masa también, lo cual se traduce en una sustancial pérdida

de agua dulce como reservorio del planeta. El calentamiento expande las aguas lo que sumado a la fusión de los hielos redonda en un aumento del nivel de los océanos. La tasa media global del aumento del nivel del mar fue de alrededor de 1,7 mm/año durante el siglo XX y aproximadamente el doble en las dos últimas décadas, lo cual supone un aumento de unos 20cm desde 1850 hasta ahora. Además desde la era industrial, el CO_2 ha ido acidificando el océano. El pH en la superficie del agua ha disminuido como resultado de su interacción con el CO_2 , dando CO_2 disuelto (1%), H_2CO_3 (9%) y HCO_3^- (90%).

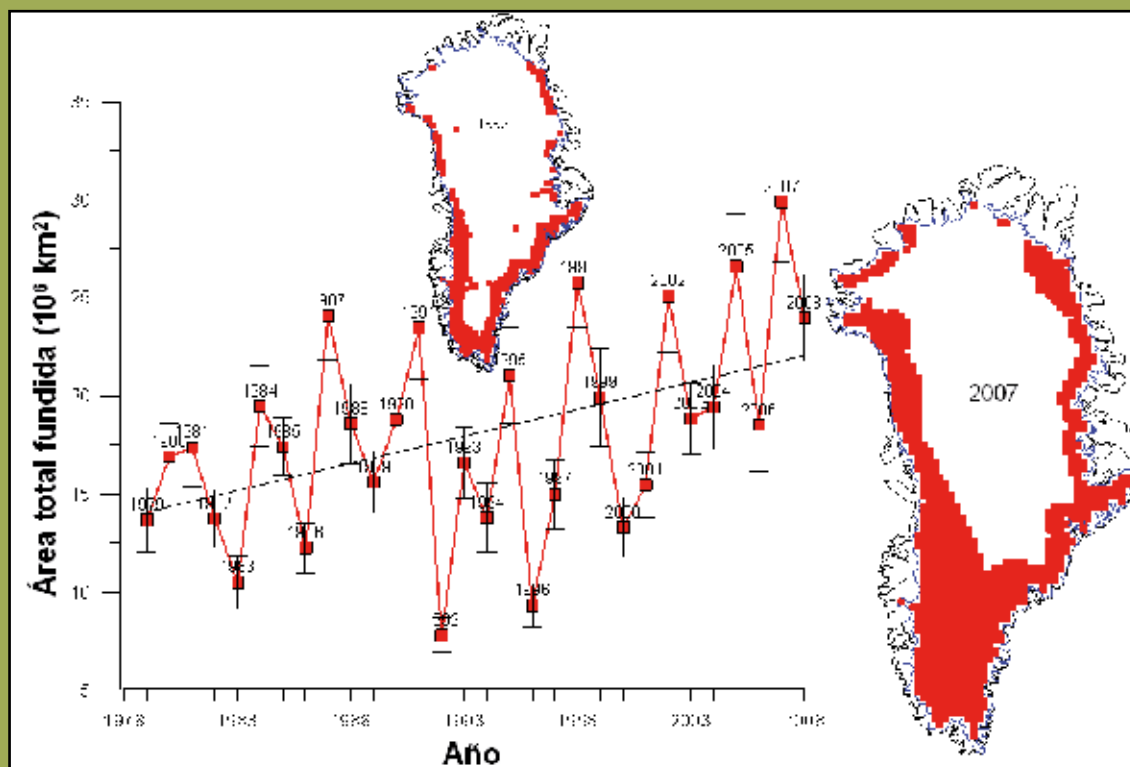


Figura 3: Groenlandia - Área total fundida

A escala mundial las emisiones de CO_2 por el uso de los combustibles fósiles ascendieron en el año 2000 a un total aproximado de 23,5 Gt $\text{CO}_2/\text{año}$. Según el Informe del "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC): "Las futuras emisiones de CO_2 sobre la base de seis escenarios, se estiman entre 29 y 44 Gt $\text{CO}_2/\text{año}$ para el año 2020 y entre 23 y 88 Gt $\text{CO}_2/\text{año}$ para el 2050 (Figura 4-a, b, c y d).

Todos los escenarios de emisiones evaluados señalaron que la temperatura de la superficie terrestre continuará aumentando durante el siglo XXI. Las emisiones continuas de gases de efecto invernadero aumentarán la probabilidad de impactos severos,

generalizados e irreversibles en las personas y en los ecosistemas, tales como: exterminación de especies, desintegración de las capas de hielo, calentamiento, acidificación y aumento del nivel del mar, efectos climáticos extremos como sequías, incendios, precipitaciones abundantes, inundaciones, tormentas más fuertes, etc. En nuestro país, de acuerdo con el Dr. Vicente Barros, los estudios marcan como impactos un retroceso de los glaciares, aumento del promedio anual de precipitaciones en el este del país y de la frecuencia de las lluvias intensas o extremas, inundaciones, así como también olas de calor.

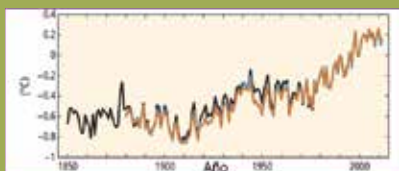


Figura 4 a: Anomalías de temperatura globalmente promediadas: Tierra y superficie del océano.

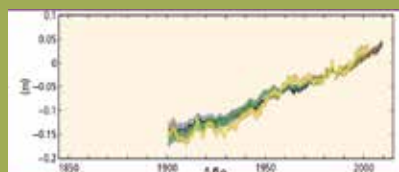


Figura 4 b: Cambio del nivel del mar globalmente promediados

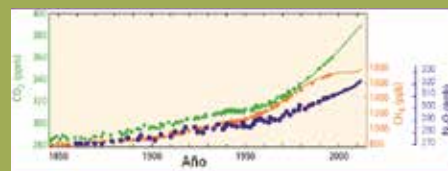


Figura 4 c: Concentración de los GEI globalmente promediados

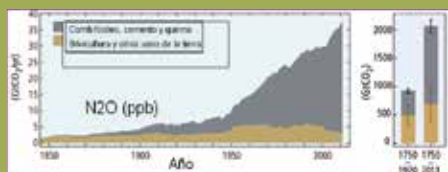


Figura 4 d: Emisiones de CO₂ Antropogénico Global

Soluciones

Considerando que aproximadamente el 70% de nuestra energía primaria actual proviene del quemado de combustible fósil, debemos enfrentar un gran desafío, que es lograr que el aumento de energía necesario se produzca mientras se disminuyen las emisiones de los GEI. De acuerdo al IPCC: la mitigación es una intervención humana para reducir las fuentes de gases de efecto invernadero. Junto con la adaptación, son estrategias complementarias para reducir los riesgos sobre las próximas décadas, aumentando las perspectivas para una adaptación efectiva, reduciendo los costos y desafíos de mitigación a largo plazo, y contribuyendo a la resiliencia a través del desarrollo sustentable.

Una simple opción no es suficiente. Una implementación efectiva depende de las políticas y la cooperación a todas las escalas, y puede mejorar a través de respuestas integradas que conectan la adaptación y mitigación con otros objetivos sociales.

Una de las medidas a implementar es el uso eficiente de la energía, en el cual juega un papel importante la educación de la población. Deben optimizarse los sistemas de generación, transmisión y consumo. Esto vale para todas las energías.

Debe iniciarse una transición hacia los combustibles fósiles con captura de carbono y a sistemas de generación de energía sin emisiones de los gases de efecto invernadero.

Todos los estudios realizados indican que es casi imposible limitar el aumento de la temperatura global por debajo de 2°C sin emplear la tecnología nuclear con 438 reactores nucleares en operación y con más de 60 plantas nucleares bajo construcción. En el 2014,

el porcentaje del suministro nucleoelectrónico mundial era del 13% y se espera aumentará a alrededor del 50% entre el 2014 y el 2035. Hay actualmente países que cumplen las recomendaciones establecidas de límites de emisión de los GEI. Suiza y Suecia tienen una matriz energética con 40% proveniente de la nucleoelectricidad. En Francia, el total es de 77%. Asimismo Finlandia, los Países Bajos, el Reino Unido, Suecia y Suiza están implementando programas para extender la vida útil de sus instalaciones nucleares.

La energía nuclear debe aceptarse como un componente clave de los sistemas de generación eléctrica en el mundo y la decisión es acrecentarlo como una opción efectiva e indiscutible para generar electricidad de base de bajo carbón.

El costo de generación ha demostrado ser estable y competitivo. El uranio comprende un pequeño porcentaje del costo de la electricidad generada. Además es un recurso global abundante proviniendo predominantemente de países políticamente estables.

La energía nuclear es sustentable. El uranio está disponible para proveer energía confiable en la próxima centuria. El aumento de la sustentabilidad requiere el aumento de la eficiencia global de los sistemas nucleares actuales a través del uso del combustible gastado, promoviendo el reciclado de plutonio en reactores térmicos (tecnología PUREX) en una primera etapa (ya implementada en Francia, Reino Unido y Japón) y la tecnología de piroprocesamiento que recupera el uranio y los transuránicos (TRU) empleando métodos electroquímicos con sales fundidas a 500-700°C. Las reacciones centrales toman lugar en los sistemas de electrorrefinamiento y de electrodeposición. En estos sistemas, el cátodo sólido es usado para recuperar U puro y el cátodo

de Cd líquido es usado para recuperar los elementos TRU y el U residual, recursos valiosos con los cuales se fabrican nuevos combustibles para ser reciclados en el reactor rápido enfriado por sodio (SFR) (reactor de Gen-IV) que suministra energía sustentable (el SFR produce exceso de neutrones durante la fisión nuclear, lo cual puede ser usado para producir más

combustible que el que consume) y optimiza la utilización de los recursos de uranio por un factor 100, suministra energía limpia y, a través de los neutrones rápidos sobre TRU, se obtienen radionucleídos de período corto (transmutación), lo cual reduce los residuos de alta actividad por un factor 20 (Figuras 5, 6 y 7).

Quemado Eficiente del Plutonio / Optimización de la Gestión de los Residuos

Probabilidad de fisión de actínidos en PWRs y SFRs

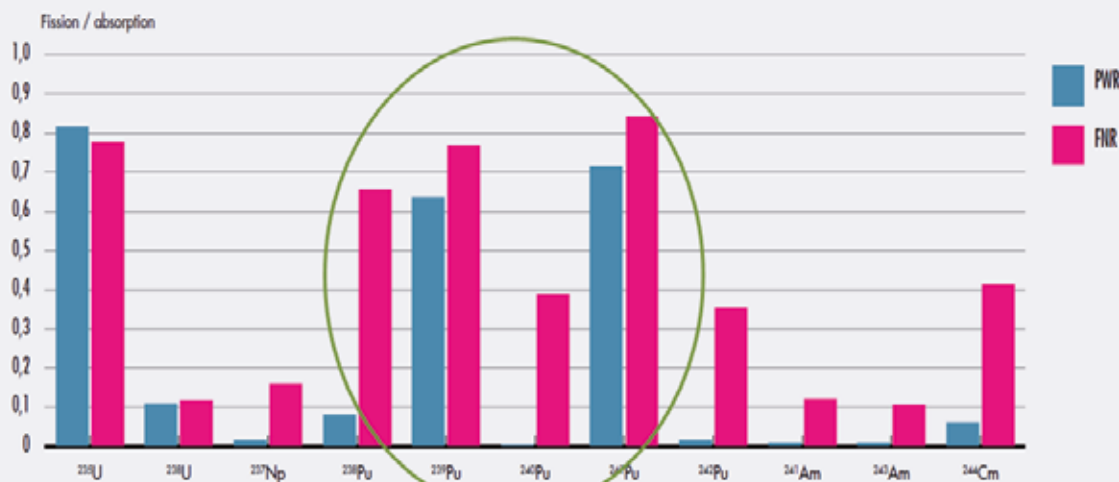
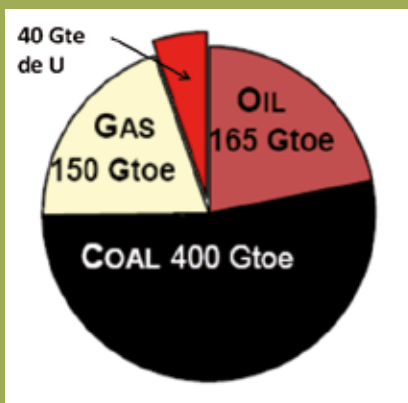


Figura 5: Sistemas sustentables a largo plazo.
Quemado de PU

Uso del U en reactores actuales



Uso del U en reactores de Gen IV

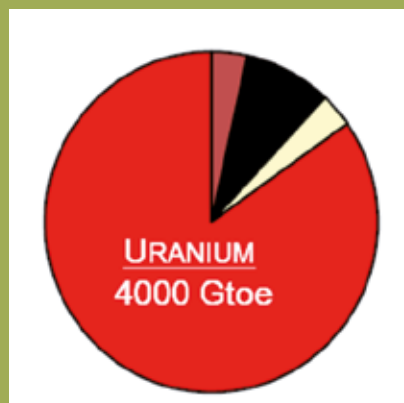


Figura 6: Uso eficiente de los recursos (uso de U en reactores actuales) y uso de U en reactores de Gen IV

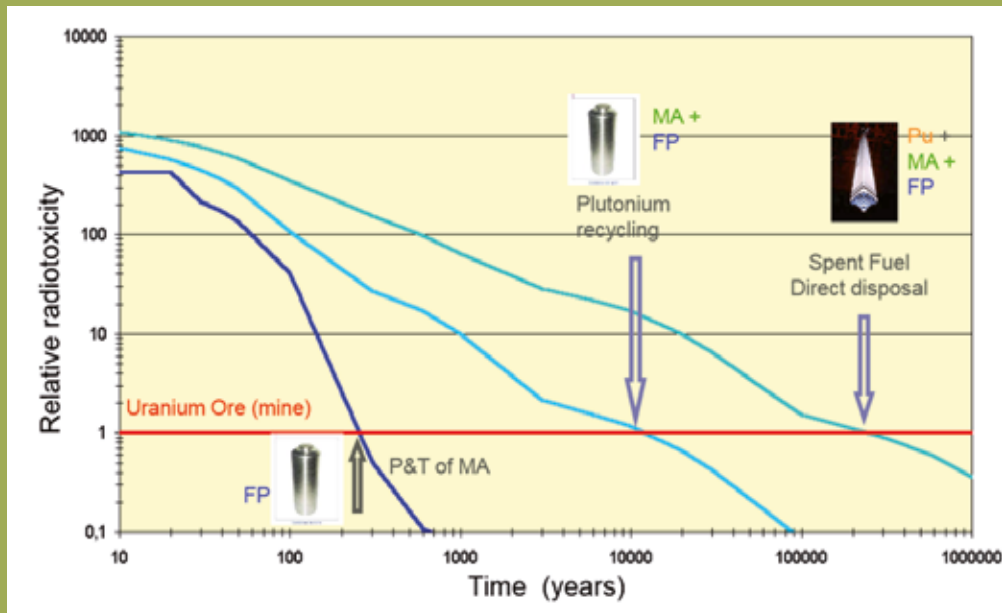


Figura 7: Capacidad de quemar y transmutar actínidos para reducir la radiotoxicidad del residuo

Por consiguiente, la energía nuclear es una energía segura, limpia y confiable con un alto factor de carga (mayor del 90%) y un impacto ambiental muy bajo. No emite CO_2 y no contamina el aire. El CO_2 asociado a la energía nuclear se origina en la minería de uranio y en la fabricación de materiales estructurales.

Además es económicamente viable dado que pueden construirse las centrales en serie o en módulos. Se ha demostrado en Francia, que (en una década pasó del 10% de energía nucleoelectrónica a más del 75%) que el precio de la unidad de electricidad está entre las más bajas del mundo, así como la emisión de gases de efecto invernadero también. Por otra parte, la energía nuclear cumple con altos estándares de seguridad, en términos de salud y fatalidades. Junto con la aeroespacial se consideran por lejos, las dos actividades más seguras.

Por consiguiente, la solución más viable es aumentar el número de centrales nucleares para reemplazar la mayor parte del combustible fósil usado actualmente.

Otra gran posibilidad de energía limpia para la humanidad será en un futuro cercano la energía generada por fusión. Hoy en día son varios los países que están trabajando en este proyecto, pero es alentador lo anunciado por el "Massachusetts Institute of Technology" (MIT) que propone un nuevo

diseño para un práctico reactor de fusión Tokamak compacto que aparentemente podría concretarse en alrededor de una década, bautizado con la sigla ARC (*Affordable, Robust and Compact*), similar en sus características al ITER. Un potente campo magnético hace posible producir el requerido confinamiento del plasma. Está diseñado para 500 MW de potencia y sensiblemente de menor tamaño que el ITER (Figura 8).

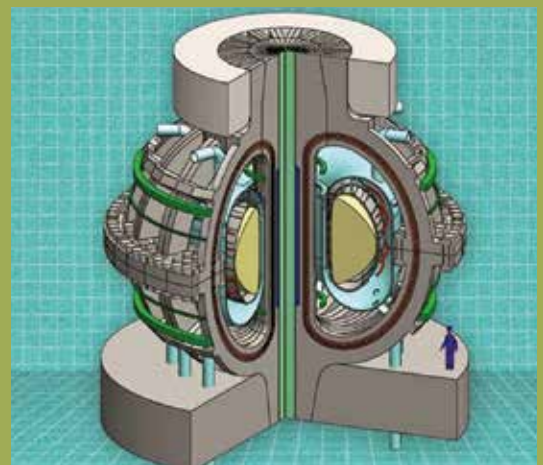


Figura 8: MIT - Reactor de fusión Tokamak Compacto

Una matriz energética lógica debe involucrar además las energías renovables, especialmente la eólica y la solar.

Las energías eólica y solar han servido a la humanidad durante siglos en muchas aplicaciones. Las emisiones de GEI son comparables a las de la energía nuclear. La energía nuclear emite en promedio 15g CO₂/KWh, esto es 30 veces menor que la del gas (400g CO₂/KWh), 50 veces menor que el carbón (700g CO₂/KWh), 3 veces menor que la fotovoltaica (45gCO₂/KWh) y del mismo tenor que la eólica.

Sin embargo, las energías renovables no pueden emplearse como energías de base, pues por sus características de intermitencia (entre el 25 y 40% de la potencia instalada), no pueden conectarse a la grilla, teniendo en cuenta que las demandas deben cumplirse en forma instantánea y completamente, lo que supondría tener un “*backup*” de generación térmica, con lo cual no se baja sustancialmente la emisión de gases de efecto invernadero. Otra alternativa sería contar con sistemas de almacenamiento de energía, los cuales no están tecnológicamente disponibles actualmente. Si el “*backup*” es a través de energía hidroeléctrica (la cual tiene limitaciones de ubicación, técnicas y económicas) podrían utilizarse las renovables.

Por otro lado, el Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos está apoyando la investigación y desarrollo para contar con fuentes eficientes de generación de energía limpia. Dentro de estos estudios está el concepto de integración, definido como “sistema híbrido”, que consiste en acoplar fuentes de energía renovables con un reactor modular compacto capaz de bajar la potencia a menos del 40% con el accionamiento de las barras de control, lo cual constituirá el “*backup*” ideal para los sistemas renovables. El reactor compacto NuScale, diseñado en el MIT (EE.UU.) (Figuras 9 y 10), demostró que podría compensar adicionalmente las variaciones de rendimiento de sistemas renovables utilizando una combinación de maniobrar la potencia del reactor con las barras de control o efectuar el bypass del vapor a la turbina (Figura11).



Figura 9: Un módulo del reactor NuScale



Figura 10: Edificio del reactor para 12 Módulos

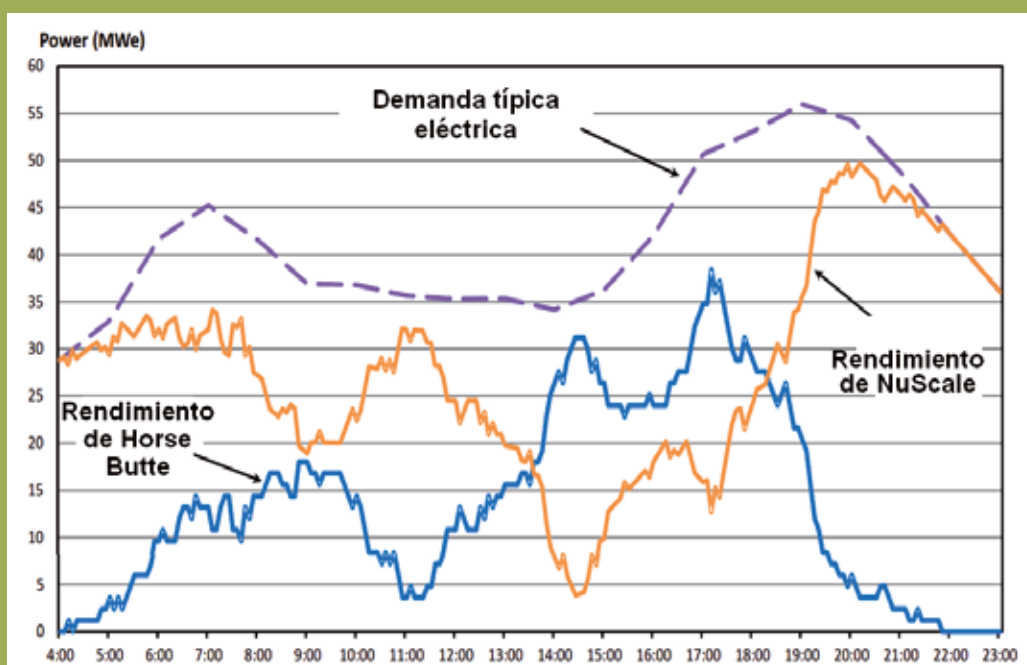


Figura 11: Ejemplo de Asociación de Energías.
Módulo de NuScale compensando la energía eólica (Horse Butte)
a través de la demanda diaria.

En Europa, también se está debatiendo la asociación de energías a través de la utilización de reactores modulares compactos con energías renovables. Se empleó un simulador (MIXOPTIM) como herramienta de evaluación. Esta evaluación puede ser útil para comprender el valor y las consecuencias de las decisiones políticas asociadas con la transición de energía. El estudio demuestra que el camino es posible para mantener un dado costo de MWh en Europa, con una mínima cantidad de producción de CO₂ y aceptable seguridad de suministro.

En nuestro país tenemos la posibilidad de utilizar el reactor CAREM convenientemente adecuado para constituir sistemas híbridos con fuentes renovables, lo cual aumenta el espectro de soluciones. Hay que tener en cuenta que las energías renovables por sí solas pueden ser sumamente útiles para pequeñas poblaciones alejadas de las redes de distribución.

Dentro de las energías renovables no podemos dejar de mencionar la hidroelectricidad que es una energía limpia y libre de emisiones de gases de efecto invernadero. Son particularmente interesantes aquellos sistemas hidráulicos asociados a un embalse que les permite responder en forma inmediata a las demandas de energía.

De todos modos, no podemos suprimir completamente la generación de energía por combustibles fósiles, dado que indiscutiblemente es lo ideal para las respuestas a los cambios súbitos de demanda, así como también para suministro de energía en las etapas de transición. Por lo tanto, es imprescindible para contribuir efectivamente a la mitigación del efecto invernadero la descarbonización, la cual comprende la captura de CO₂, transporte y almacenamiento a largo plazo (disposición final) del CO₂ (CAC).

Es un proceso consistente en la captura del CO₂ emitido por las fuentes generadoras de energía y que debe ser extendido a todos los demás sistemas (industriales, biológicos y otros). El CO₂ capturado debe ser transportado a un lugar de disposición final para aislarlo de la atmósfera en el largo plazo. Es una medida de mitigación para la estabilización de las concentraciones de emisión de los gases de efecto invernadero.

Las tecnologías disponibles permiten captar entre el 85 y 95% del CO₂ (Figura 12). Una central eléctrica equipada con una planta de captación necesitaría alrededor del 10 al 40% de energía adicional, de la cual la mayor parte de ella se utilizará para la captación y compresión. De esta manera podría reducirse las emisiones de CO₂ en más de un 80%.

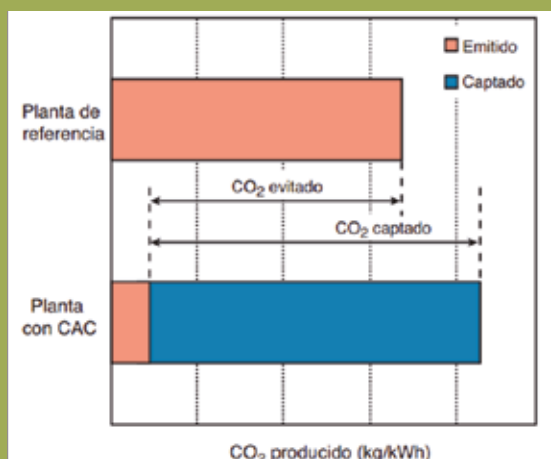


Figura 12: Captación y almacenamiento de CO₂ (CAC) emitido en centrales eléctricas

Existen diferentes tipos de captación (Figura 13) de CO₂: (a) posterior a la combustión en el caso de los combustibles fósiles y biomasa y (b) previo a la combustión, particularmente en los sistemas industriales o biológicos que generen o liberen CO₂. La captación posterior a la combustión en las centrales eléctricas es económicamente viable en condiciones específicas.

Respecto al transporte, se emplean gasoductos para grandes cantidades de CO₂ a distancias de hasta 1.000 km. Para cantidades menores, el uso de buques-tanques resultaría más económico. También puede transportarse en vagones o camiones cisternas a pequeña escala (Figura 14).

El almacenamiento o disposición final del CO₂ en formaciones profundas en la tierra o en el mar. Se están desarrollando proyectos de almacenamiento

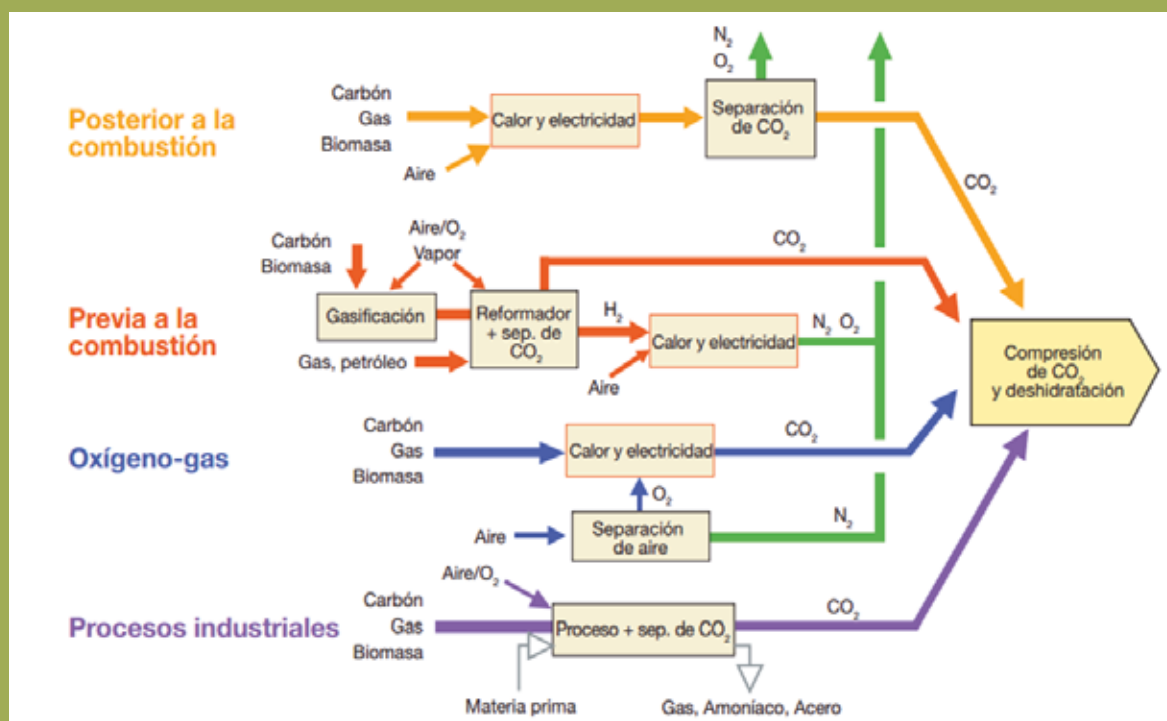


Figura 13: Visión general de los procesos y los sistemas de captación de CO₂

geológico a escala industrial (del orden de un Mt de CO₂ /año): por ejemplo el Proyecto Steipner en una formación salina en Noruega; el Proyecto Weyburn de recuperación mejorada de petróleo en Canadá y el Proyecto In-Salah en yacimientos de gas en Argelia.

El almacenamiento oceánico permite la inyección y disolución de CO₂ en una columna de agua a más de 1.000 m de profundidad por medio de un gasoducto fijo. El impacto geológico está en fase de investigación.

Componente de la CAC	Tecnología de CAC	Fase de investigación ¹⁾	Fase de demostración ⁷⁾	Económicamente viable en condiciones específicas ⁵⁾	Mercado maduro ⁶⁾
Captación	Posterior a la combustión			X	
	Previa a la combustión			X	
	Combustión de oxígeno-gas		X		
	Separación industrial (refinamiento de gas natural, producción de amoníaco)				X
Transporte	Gasoducto				X
	Buque			X	
Almacenamiento geológico	Recuperación mejorada de petróleo				X ^a
	Yacimientos de gas o petróleo			X	
	Formaciones salinas			X	
	Recuperación mejorada de metano en capas de carbón (ECBM)		X		
Almacenamiento oceánico	Inyección directa (disolución)	X			
	Inyección directa (lago)	X			
Carbonatación mineral	Minerales silicatos naturales	X			
	Materiales de desecho		X		
Usos industriales del CO ₂					X

Figura 14: Situación actual del desarrollo tecnológico

Conclusiones

Indudablemente el hombre nunca ha cuidado el planeta, se ha limitado a usarlo y a explotarlo. Ahora, en este momento, el planeta comenzó a decir basta.

Las acciones antropogénicas, sobre todo a partir de la expansión industrial a mediados del siglo XIX, han ido aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero sin ningún recaudo lógico. La expansión poblacional y la mejor calidad de vida son responsables de la mayor parte de este fenómeno.

Los gases de efecto invernadero CO₂, CH₄ y N₂O acumulados en la atmósfera dejan entrar los rayos solares e impiden disipar parte del calor absorbido al espacio y desde 1850 hasta ahora hemos llegado a acumular un total de alrededor de 2.500 millones de toneladas de CO₂. En la actualidad se están registrando 400 ppm de CO₂ en la atmósfera y de seguir este ritmo de emisiones llegaríamos al año 2050 con 450 ppm y la posibilidad de que el calor acumulado en nuestro planeta eleve la temperatura del mismo por encima de los 2°C, lo cual según los climatólogos más prestigiosos nos pondría en una situación catastrófica.

Todos estos fenómenos son irreversibles. De cesar las emisiones, el metano tardaría más de 50 años en desaparecer de la atmósfera, los óxidos nitrosos

algunos siglos y el CO₂ permanecería casi constante, mucho más allá de límites temporales comprensibles. Dado que como dijimos, el fenómeno es irreversible, la única solución posible es no acrecentarlo.

En la actualidad todo el mundo está cobrando conciencia que el Cambio Climático ya está instalado entre nosotros y son muchos los científicos y tecnólogos que están desarrollando sistemas de producción de energía libre de emisiones de GEI, así como también métodos de captura de CO₂ para aquellas fuentes en que es inevitable la liberación de CO₂.

Las sucesivas Conferencias de las partes, desde la “célebre” de Kyoto hasta la próxima COP 21 en diciembre de 2015 en París, han tratado de establecer límites, multas y sanciones, pero sobre todo aquellos países que más emiten no han cumplido con los requisitos impuestos y los políticos no han prestado atención a este problema ya acuciante.

El Papa Francisco en su histórica Encíclica “Laudato Si” habla fuertemente sobre el Cambio Climático y las acciones que hay que tomar para contrarrestarlo.

Por otra parte, a instancias de la Sociedad Francesa Nuclear (SFEN), junto con la ANS y la ENS, se ha iniciado un movimiento “**NUCLEAR for CLIMATE**” en el cual, entre otras cosas, los Presidentes de todas

las Sociedades Nucleares del mundo firmaron un documento comprometiéndose a hacer todos los esfuerzos necesarios para imponer la Energía Nuclear como una de las principales soluciones al Cambio Climático. La Asociación Argentina de Tecnología Nuclear (AATN) estuvo activamente presente a través de su Presidente). El acuerdo se firmó en Niza, Francia, en mayo del 2015.

El calentamiento global es un problema de **HOY**, no de mañana. Todos en mayor o menor proporción somos responsables del mismo y debemos implementar **YA** todas las acciones de mitigación y adaptación necesarias para solucionarlo.

No podemos legar bajo ningún concepto a nuestros descendientes, un planeta sumido en una situación de catástrofe climática irreversible porque los responsables de tomar las decisiones adecuadas prefieran el rédito de hoy a la gloria del mañana.



Firma de la Declaración "Nuclear for Climate" en Niza, Francia, en mayo del 2015
(Último de la derecha Dr. Jaime Pahissa Campá, Presidente de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear)

Bibliografía

- James Hansen: "Climate Change and Energy: Can Young People Take Ownership of Their Future w/o Nuclear Power? –Proceedings of ICAPP 2015, Niza, Francia, 03-06 Mayo 2015.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)-Fifth Assessment Report (AR5)
- Proceedings of ICAPP 2015, Niza, Francia: "Can Nuclear Power and Renewables be Friends? Ingersoll, Colbert, et.al.
- Proceedings of ICAPP 2015, Niza, Francia: Why Nuclear Energy Is Essential to Reducing Anthropogenic Greenhouse-Gas Emission Rates; Alonso, Brook, et al.
- Vicente Barros: "El Cambio Climático en Argentina".
- Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica, "La Fusión Termonuclear: Estado del Arte", Marta H. de Pahissa, No. 45/46 – Enero-Junio 2012.

Programa de monitoreo de elementos combustibles tipo MTR gastados en reactores experimentales, en sitios de almacenamiento interino prolongado en agua

GUASP R., LANZANI L., LINARDI E., LOBERSE A., RODRÍGUEZ, S. y HADDAD R. – Departamento Corrosión – Gerencia de Materiales - Centro Atómico Constituyentes - Comisión Nacional de Energía Atómica

Los principales reactores nucleares experimentales o de producción argentinos y aquellos exportados funcionan con elementos combustibles formados por una serie de placas paralelas dentro de las cuales se aloja el material físil (compuesto de uranio). Tanto las placas como el bastidor que las sostiene están fabricados en aleación de aluminio, material muy susceptible a diversas formas de corrosión en aguas de calidad inferior. En general, los reactores nucleares están sometidos a un sistema de control que asegura el mantenimiento adecuado de las condiciones de trabajo durante el período de quemado. Sin embargo, una vez completado el ciclo dentro del reactor, los combustibles gastados deben atravesar distintas etapas de almacenamiento interino que puede llegar a ser muy prolongado, hasta llegar al momento de su disposición final.

El presente trabajo trata de la realización permanente de un programa extensivo de monitoreo de sitios de almacenamiento húmedo que abarca no sólo los depósitos de elementos combustibles sino también los reactores de baja potencia donde los combustibles pueden permanecer por muchos años, con el objetivo de evaluar la posibilidad de que ocurran procesos de corrosión, asesorando a los responsables de cada lugar sobre la mejor forma de evitar la degradación de esos combustibles.

Monitoring programme for interim extensive wet storage of research reactors irradiated fuel

The main research and production Argentine nuclear reactors, along with those exported, use fuel elements fabricated by a series of parallel plates inside which the fissile material (uranium) is located. Plates as the mainframe which supported them are made by aluminium alloy, material which is very susceptible to different forms of corrosion in low quality water. In general, nuclear reactors are subject to control systems which assured the adequate maintenance of work conditions during the burn up time. Furthermore, once the fuel cycle inside the reactor is completed, the irradiated fuel has to go throughout different interim storages steps which could be very extensive until its final disposition.

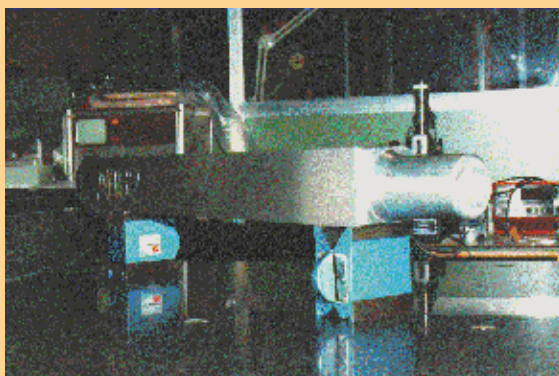
The present work is related to the permanent performance of an extensive monitor programme of wet storage sites which comprise not only the deposits of irradiated fuel elements, but also low energy reactors where fuel elements could be kept for a long time in order to evaluate possibilities of the corrosion process to advise the responsible for each site on the ways to avoid fuel degradation.

Antecedentes y Objetivos

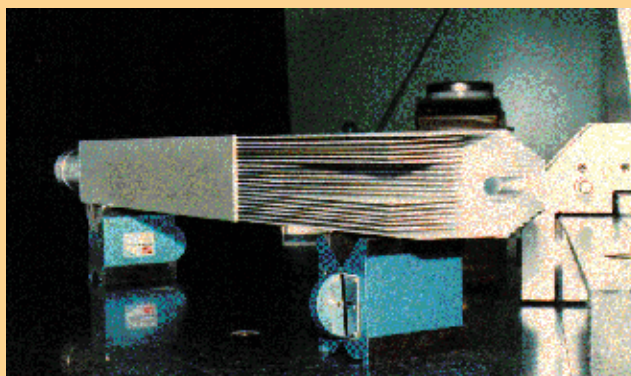
Los principales reactores nucleares experimentales o de producción argentinos (RA-1, RA-3, RA-6 y el futuro RA-10 y aquellos exportados a Perú, Argelia, Egipto, Australia, etc.), funcionan con elementos combustibles (EC) formados por una serie de placas paralelas, dentro de las cuales se aloja el material físil (compuesto de uranio). Tanto las placas como el bastidor que las sostienen están fabricados en aleación de aluminio (Figura 1).

El aluminio es un material práctico por su transparencia neutrónica, propiedades mecánicas y costo, pero que -siendo bastante resistente a la corrosión en servicio- es muy susceptible a diversas formas de corrosión en aguas de calidad inferior, sobre todo si se encuentra en contacto con otros metales, formando pares galvánicos. En general, los

reactores nucleares están sometidos a un sistema de control que asegura el mantenimiento adecuado de las condiciones de trabajo durante el período de quemado. Sin embargo, una vez completado el ciclo dentro del reactor, los combustibles gastados (ECG) deben atravesar distintas etapas de almacenamiento interino hasta llegar al momento de su disposición final. Las mismas varían según el sitio, pero pueden incluir períodos de decaimiento en el mismo reactor, compartiendo frecuentemente el agua del circuito primario al principio y luego en otras piletas de decaimiento bajo control de la misma instalación, por lapsos que pueden llegar a algunos años. Posteriormente, pueden ser trasladados a depósitos de almacenamiento interino prolongado bajo agua, donde la residencia del combustible gastado se puede prolongar por décadas; por ejemplo, el Depósito Central de Material Fisionable Especial



Vista del EC



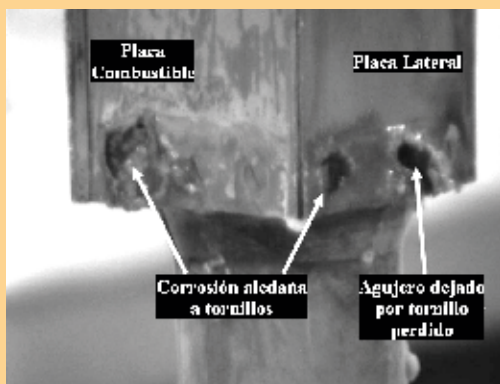
Corte mostrando las placas

Figura 1: Combustibles nucleares de reactores experimentales argentinos

Irradiado (DCMFEI), localizado en el Centro Atómico Ezeiza (CAE), albergó los elementos combustibles nucleares gastados en el Reactor RA-3 hasta por 23 años¹. En total, el tiempo que estuvieron bajo agua desde que entraron al reactor fue superior a 30 años, hasta que fueron enviados a EEUU como parte de la Iniciativa de Reducción de Amenaza Global (GTRI en inglés). En el caso del Reactor RA-6, se utilizaron inicialmente elementos combustibles que

habían sido previamente quemados en el RA-3, los que se mantuvieron en el núcleo o en la piletta de almacenamiento hasta el año 2007, llegando a 39 años bajo agua.

Durante la inspección previa a la repatriación de ECG del reactor RA-3 se detectaron daños en algunos de ellos, claramente asimilables a problemas de corrosión². La Figura 2 muestra algunos ejemplos de corrosión galvánica y perforación de las placas.

**Corrosión galvánica por uso de tornillos de acero inoxidable****Perforación por picado****Figura 2:** Daños producidos en EC por corrosión bajo agua

En virtud de la aguilatada experiencia acumulada en el Laboratorio de Corrosión de la CNEA, se sabía que los procesos de corrosión de las aleaciones de aluminio estaban relacionados con las impurezas del agua, como especies disueltas, principalmente sales de cloruros³. Por esta razón, sorprendía encontrar degradación de los combustibles depositados

bajo agua pura. A partir de ahí se comenzó una línea de investigación sistemática que permitió entender los mecanismos varios de degradación que pueden tener lugar en las instalaciones de almacenamiento, lo que convirtió a la CNEA en un referente internacional en la materia, desarrollando un papel protagónico en diversas actividades

patrocinadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), incluyendo dos Programas Coordinados de Investigación (CRP)^{4,5}, un Proyecto Coordinado para Latinoamérica (RLA)⁶, el dictado de un curso internacional⁷, la edición de un manual internacional⁸ y la participación en varias reuniones convocadas por el OIEA en calidad de consultores. Internamente, se participa activamente en actividades el Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR), realizando asesoramiento a instalaciones (reactores, sitios de almacenamiento húmedo), incluyendo el asesoramiento para el desarrollo y construcción de la nueva instalación de almacenamiento transitorio FACIRI (Facilidad de Almacenamiento de Combustibles Irradiados de Reactores de Investigación), ubicada en el CAE; también, se participa habitualmente en la confección de los informes anuales que se elevan al Honorable Congreso Nacional.

Entre todas las actividades mencionadas se destaca la realización permanente de un programa extensivo de monitoreo de sitios de almacenamiento húmedo que abarca no sólo los depósitos de ECG sino también los reactores de baja potencia, donde los combustibles pueden residir por muchos años. El objetivo del Programa es evaluar la posibilidad de que ocurran procesos de corrosión, asesorando a los

responsables de cada lugar sobre la mejor forma de evitar la degradación de los combustibles.

Desarrollo Experimental

Los sitios monitoreados son: la instalación FACIRI, la piletta de decaimiento del reactor RA-3, el reactor RA-1, el reactor RA-6 y el depósito ("Cementerio") del reactor RA-6. Inicialmente se incluía también la instalación DCMFEI, pero actualmente este control no se realiza ya que la actividad en dicha facilidad está siendo discontinuada. Como no es posible el examen metalúrgico directo -debido a los intensos campos de radiación- esto se realiza mediante la inmersión de cupones metálicos en los mismos sitios, con observación periódica, complementada con el control químico de las aguas. Los cupones se fabrican del mismo material de que están hechos los combustibles, que en Argentina es la aleación de aluminio denominada AA 6061 (nomenclatura de la *Aluminum Association* de EEUU) con el mismo tratamiento termo-mecánico y acabado superficial. A lo largo del tiempo el diseño ha sufrido variantes derivadas de la experiencia acumulada, siendo actualmente un sector de círculo con un aro para engarce, según se aprecia en la Figura 3.

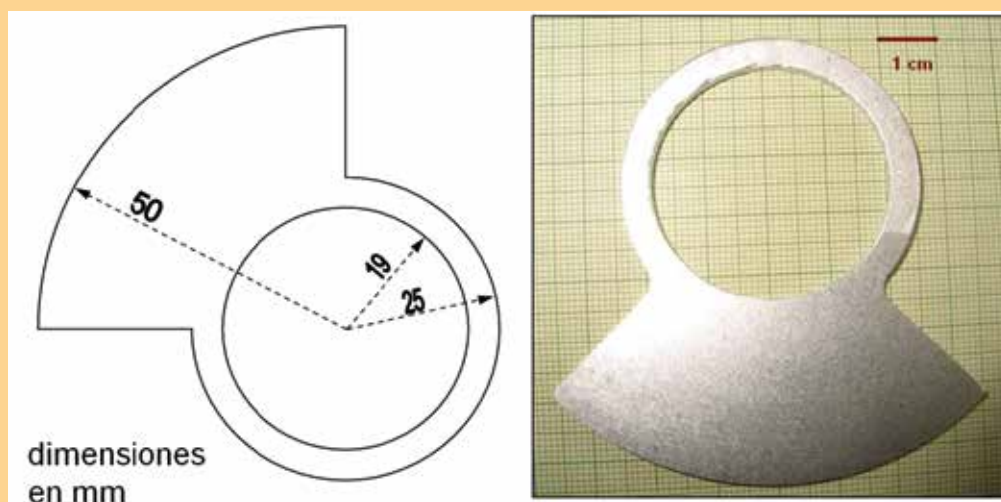


Figura 3: Esquema del tipo de probeta utilizada actualmente en el programa de monitoreo

La Figura 4 muestra cómo se arman los conjuntos de ensayo mediante el apilamiento de las probetas sobre un eje de acero inoxidable, separadas con anillos cerámicos aislantes para evitar el contacto eléctrico. Se colocan dos probetas aisladas y otras dos

acopladas con discos de acero inoxidable, formando un par galvánico. Los sectores se superponen de forma tal que entre los cuatro se completa un círculo visto desde arriba. Todos tienen la cara superior expuesta libremente. Esto es importante

para evitar el enmascaramiento de partículas que puedan caer desde el ambiente, cuyo efecto es una de las interacciones que interesa evaluar. En el pasado se han utilizado círculos completos y pares de aluminio con aluminio para ver el efecto de rendijas. Los separadores fueron alguna vez hechos

con politetrafluoroetileno (PTFE, más conocido por su denominación comercial Teflon®), pero su uso se discontinuó debido a que dicho material despidió flúor en campos de radiación, el cual ataca a las aleaciones de aluminio, interfiriendo así con el experimento.

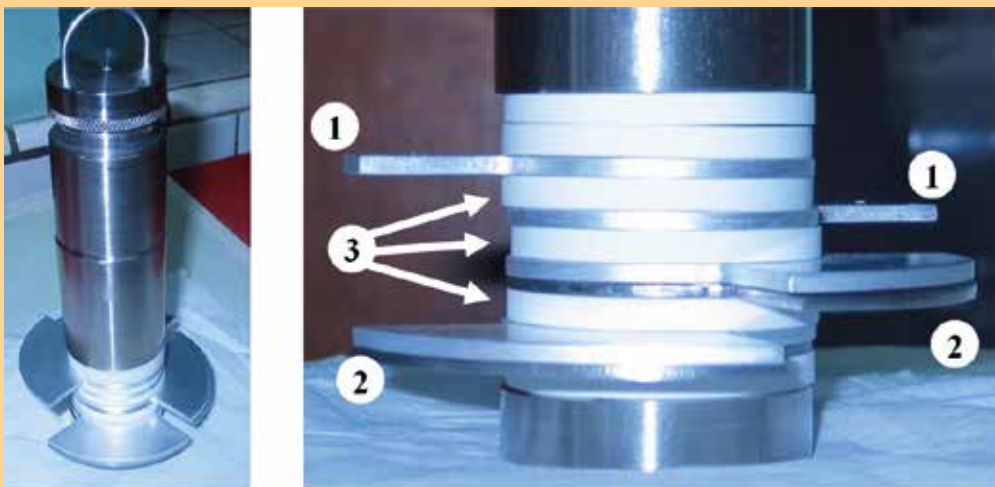


Figura 4: *Izquierda:* Vista del conjunto de ensayo armado. *Derecha:* Detalle mostrando: (1) Cupón de aluminio aislado, (2) Cupla de aluminio con acero inoxidable y (3) Separadores cerámicos

Los arreglos se sumergen en las inmediaciones de los combustibles que se desea vigilar y se dejan por un año antes de extraerlos y efectuar los exámenes necesarios para establecer su estado: observación visual, microscopía óptica, metalografía, etc. Se desarma el conjunto y se retiran las piezas de aluminio. En ese momento se mide el pH del agua adherida a la superficie y también el agua retenida

dentro de las cuplas; este dato brinda otro indicio acerca de eventuales procesos de corrosión. Se ensambla otro conjunto utilizando los mismos componentes estructurales, con nuevas probetas, insertándolo en reemplazo del anterior. La Figura 5 muestra los arreglos ya colocados en posición de monitoreo dentro de instalaciones de los reactores RA-3 y RA-6.

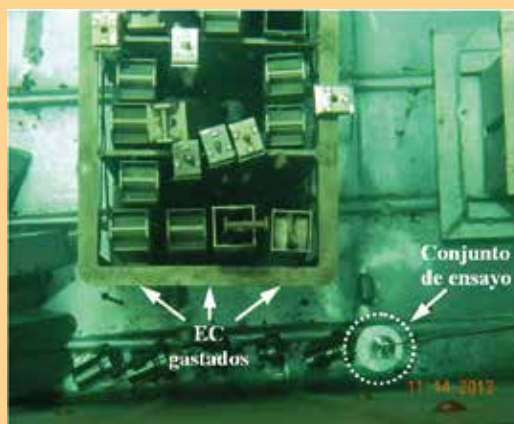
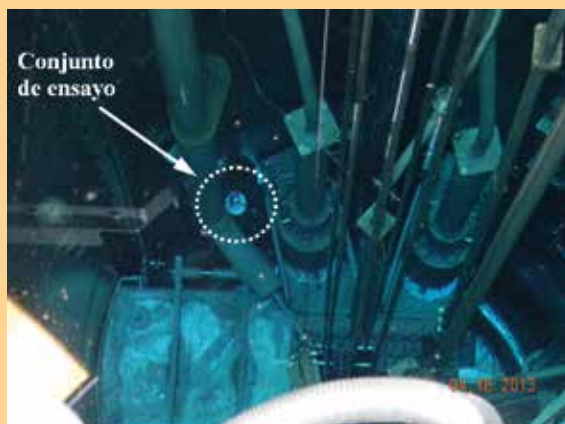


Figura 5: Conjuntos de ensayo introducidos en la pileta del reactor RA-6 (izquierda) y en la pileta de decaimiento del reactor RA-3 (derecha)

En forma paralela a la inmersión de cupones se realiza un monitoreo del agua, extrayendo bimestralmente muestras para su análisis químico. Éste incluye la determinación de conductividad, pH y contenidos de los siguientes iones disueltos: cloruros, nitratos, sulfatos, aluminio, hierro, magnesio y sólidos totales disueltos (STD). La presencia de aluminio y magnesio podría indicar que hay corrosión de los combustibles, mientras que con los otros elementos se busca establecer el grado de pureza del agua. En el caso de la FACIRI, diseñada para contener ECG en distintos niveles, se toman muestras de agua a tres alturas diferentes, para comprobar la eficiencia del sistema de circulación.

Resultados

La experiencia acumulada luego de años de llevar adelante el Programa de Monitoreo de ECG en instalaciones de almacenamiento transitorio bajo agua ha permitido generar un panorama integral de las interacciones de los ECG con su entorno, que pueden producir su degradación. El análisis químico periódico de las aguas, realizado en paralelo con la inmersión de probetas, permite asociar los efectos observados en las mismas con excursiones de los parámetros. Claramente, el aspecto de las probetas

se corresponde con los resultados de los análisis químicos. La Figura 6 muestra el estado superficial de cupones circulares que fueron sumergidos en dos sitios -pileta del RA-6 y DCMFEI- con distinta rutina de mantenimiento del agua, cuyos análisis se muestran en la Tabla 1. Mientras la pieza metálica ensayada en el RA-6 presenta una superficie sin alteraciones, sólo cubierta por una capa de óxido delgada y pareja, se ve que la otra ha sufrido corrosión, con presencia de numerosas picaduras.

Parámetros de análisis		RA6	DCM FEI
Parámetros del agua	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3,5	150
	pH	5,8	8,2
Especies disueltas	Cloruros (ppm)	< 0,05	18,5
	Sulfatos (ppm)	< 0,05	4,5
	Nitratos (ppm)	< 0,05	< 0,05
	Aluminio (ppm)	< 0,05	344
	Hierro (ppm)	< 0,05	128
	Magnesio (ppm)	< 0,05	138
STD (mg/l)		16	108

Tabla 1: Resultado de análisis químico de aguas de diferentes sitios

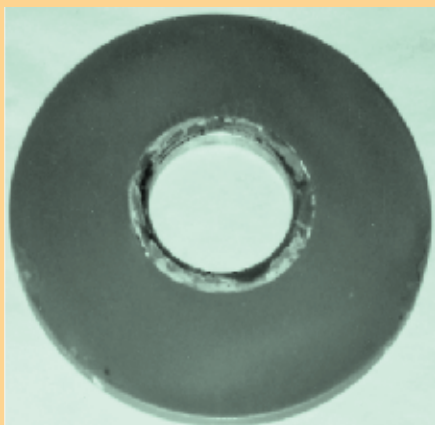


Figura 6: Aspecto superficial de cupones ensayados en el RA-6 (IZQ) y en el DCMFEI (DER). Diámetro: 10 cm.

Resulta evidente que los puntos de ataque localizado se produjeron como consecuencia de un proceso de corrosión por picado de aluminio, que se da cuando hay iones cloruro disueltos en el agua y la diferencia de potencial en la interfaz metal/agua es superior a un valor característico

que se denomina "Potencial de Picado"^{3,9}. En el caso ilustrado, la elevación de potencial se da en los puntos sobre los que se depositaron partículas conductoras de óxido de hierro proveniente de la corrosión de otros componentes de la facilidad, formando un par galvánico localizado. Al observar el

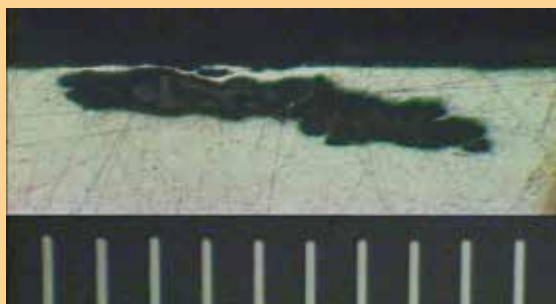
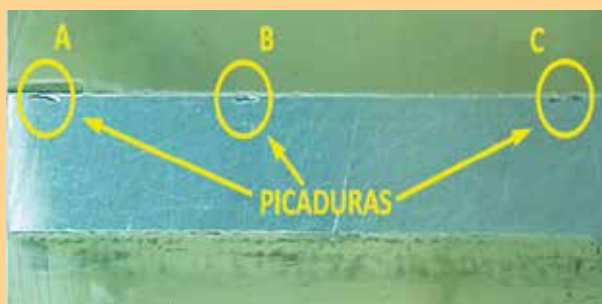


Figura 7 - Izquierda: Metalografía de la sección transversal de la probeta de Figura 6 Derecha, mostrando la penetración de tres de las picaduras. **Derecha:** Magnificación de la picadura A. División=100 μm .

corte transversal de las picaduras (Figura 7) se puede comprobar que las mismas tienden a extenderse en la dirección de laminación, alcanzando longitudes del orden del milímetro y profundidades de entre 100 y 200 micrones, suficientes para perforar una placa combustible.

Quizás uno de los eventos más interesantes ha sido el hallazgo de alteraciones en cupones sumergidos en el Cementerio del Reactor RA-6, donde se siguen estrictamente las normativas de control de calidad de agua, como consecuencia de lo cual el estado de mantenimiento de las instalaciones y de los combustibles es óptimo. Sin embargo, luego de la extracción rutinaria de un ensamble de monitoreo se observó la presencia de anomalías en la superficie de arriba del cupón superior, consistente en una mancha brillante dentro de la cual había puntos oscuros. Observando con magnificaciones sucesivamente incrementadas se llegó a percibir que los puntos oscuros eran pequeñas picaduras penetrantes, según se aprecia en la Figura 8. Esta situación resultaba sorprendente desde el punto de vista técnico, ya que el agua de dicha instalación no tiene iones agresivos disueltos tales como cloruros, necesarios para producir corrosión por picado.

Revisando el resultado de los análisis químicos periódicos de las aguas del citado sitio, se observó que varios de los parámetros medidos sufrieron una excursión en un período de tiempo de entre 4 y 6 meses, según se aprecia en el gráfico de la Figura 9. Este período coincide con el lapso en que se hicieron trabajos de construcción en el reactor para la instalación de una facilidad de Terapia por Captura Neutrónica por Boro (BNCT), que implicó la realización de tareas de obra civil con producción de polvo de mampostería y otros que -a pesar de haberse tomado recaudos- se diseminaron por el ambiente del reactor, llegando a afectar el depósito de ECG.



Figura 8: Ataque localizado sobre la superficie de un cupón ensayado en el Cementerio Húmedo del Reactor RA-6

Como se observa, si bien las aguas se mantienen extremadamente puras, con ausencia absoluta de cloruros y sulfatos, se produjo un aumento momentáneo del contenido de STD, que llegó a ser 6 veces superior a la media histórica, así como alteraciones en la conductividad. Esta comprobación fue clave para determinar las causas de la degradación observada, que se atribuyó al efecto de partículas sedimentadas sobre la superficie de los cupones. El efecto observado fue reproducido en el laboratorio^{10,11}, donde se estudió la influencia de distintos tipos de partículas, encontrándose que aquellas provenientes de desprendimientos de mampostería, tales como cemento o cal, producen ataque alcalino, mientras que otras de origen metálico, como algunos óxidos de hierro, generan un tipo de ataque por intensificación de las reacciones catódicas. Virtualmente cualquier corpúsculo sedimentado producirá picado si el aluminio está

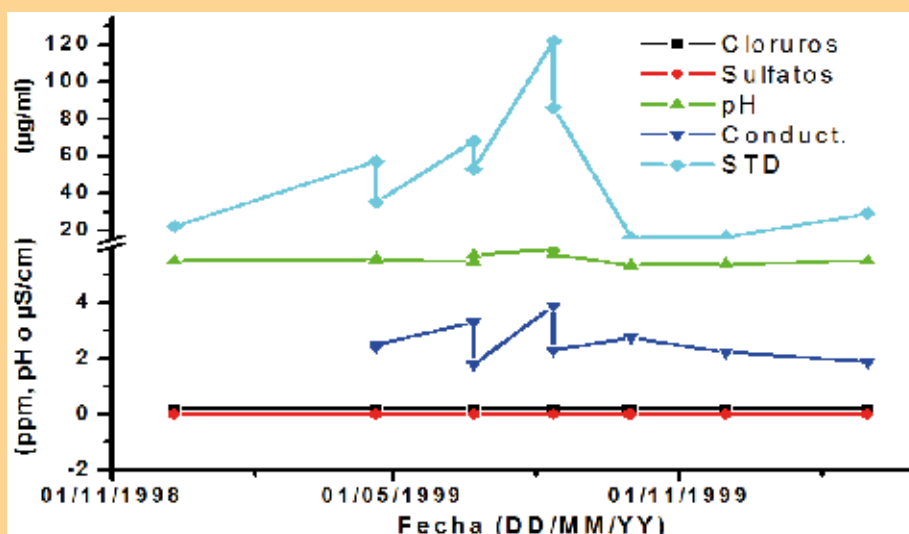


Figura 9: Evolución temporal de parámetros de análisis químico de las aguas del Cementerio Húmedo del reactor RA-6 previa a la extracción del conjunto de probetas referido en la Figura 6

en contacto eléctrico con otro metal, como acero inoxidable, debido a que debajo del sedimento el agua retenida se contamina con productos lixiviados, entre los que puede haber cloruros, que también contribuyen a aumentar la conductividad y a alterar

el pH. En la Figura 10 se observa el ataque producido en 7 días en una solución con 6 ppm de cloruros bajo escamas de vidrio transparente, que penetra hasta unos 100 µm dentro del material.



Figura 10: Picaduras formadas debajo de escamas de vidrio transparente
Izquierda: vista general **Centro:** magnificación **Derecha:** metalografía de sección transversal

Discusión y Conclusiones

A partir de las observaciones realizadas mediante el Programa de Monitoreo, corroboradas con investigaciones de laboratorio, el daño verificado en ECG depositados en la instalación DCMFEI (actualmente en proceso de cese de operación) se explica como el resultado de diversos procesos de corrosión, principalmente corrosión por picado y

corrosión galvánica. El origen de estos fenómenos se encuentra en tres situaciones:

- 1) Los combustibles de aluminio estaban en contacto con componentes de acero inoxidable de la facilidad.
- 2) El agua del depósito no tenía la pureza recomendada para la correcta preservación de los ECG en cuanto a su conductividad y contenido de iones agresivos disueltos tales como cloruros.

3) La corrosión de elementos de la facilidad produjo la precipitación de partículas, principalmente óxido de hierro, sobre los ECG, induciendo la corrosión bajo sedimentos.

A partir de la experiencia acumulada por el desarrollo del Programa de Monitoreo y las investigaciones paralelas de laboratorio, se pudieron establecer criterios de gestión de los ECG que permiten asegurar la correcta conservación. Los mismos se aplican actualmente en los sitios de almacenamiento interino (prolongado o no) de ECG de aluminio, así como también en los reactores, sobre todo en aquellos en los que, por su naturaleza, la residencia de los combustibles tiende a ser prolongada. Particularmente, se destaca la implementación de medidas preventivas en la nueva instalación FACIRI, en la que se han tenido en cuenta todos los criterios mencionados y donde también se efectúa el control de rigor.

Estos criterios incluyen no sólo normativas referentes a la calidad del agua, cuya composición química debe respetar los valores que muestra la Tabla 2, sino sobre el diseño de las facilidades de almacenamiento, en las que se debe proteger los ECG de la posibilidad de caída de partículas de cualquier tipo, evitando la realización de actividades que las

generen sin antes realizar las previsiones necesarias para que no caigan en el depósito. Esto incluye diseñar coberturas que a su vez no sufran corrosión; por ejemplo, las mismas pueden ser construidas en acero inoxidable, pero nunca en acero al carbono u hormigón, ni siquiera protegidos con pinturas.

Otra cuestión de diseño crítica a tener en cuenta es que se debe evitar por todos los medios que los ECG tomen contacto con elementos de otro metal, como acero inoxidable, cobre, etc. Los canastos, canales u otro elemento que contenga a los ECG deben estar hechos de aleaciones de aluminio.

La Tabla 2 muestra los parámetros esenciales a respetar y sus límites. Una normativa más amplia y detallada se puede encontrar en⁸. Se recomienda un análisis químico extendido inicial y luego reducir la lista de parámetros a aquellos que muestren alguna concentración, dejando otros para chequeos más esporádicos. Se deben incluir elementos químicos que razonablemente se puedan encontrar, como por ejemplo plata y cadmio proveniente de elementos de control si éstos se encuentran depositados en el mismo sitio, carbono en el caso de reactores que utilicen este tipo de reflectores, etc. La búsqueda de aluminio y magnesio tiene que ver con la evaluación de la corrosión que puedan estar sufriendo los combustibles.

Parámetro	Valor Límite	Frecuencia de Monitoreo
Conductividad	< 1.0 µS/cm	En línea, confirmación por laboratorio bimestral
pH	Entre 5 y 6.5	En línea, confirmación por laboratorio bimestral
Cloruro	< 0.05 mg/L	Bimestral
Plata	< 0.05 mg/L	Anual
Cobre	< 0.05 mg/L	Anual
Nitrato	< 0.05 mg/L	Anual
Substancias Disueltas	< 0.1 mg/L	Bimestral
Hierro	< 0.1 mg/L	Bimestral
Sulfato	< 0.1 mg/L	Bimestral
Aluminio	< 0.1 mg/L	Bimestral
Magnesio	< 0.1 mg/L	Bimestral
Sólidos	< 5 mg/L	Bimestral

Tabla 2: Listado de elementos químicos a controlar en el agua de almacenamiento de ECG

Reconocimientos

- Este trabajo se realizó y se continúa como Proyecto de la Gerencia de Materiales de la CNEA, con apoyo substancial del Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos.

- La planta de fabricación de Elementos Combustibles de Reactores de Investigación proveyó los materiales y realizó los tratamientos térmicos y mecánicos para la construcción de los cupones de ensayo y monitoreo.

- El Organismo Internacional de Energía Atómica promovió y financió la participación en programas y cursos internacionales, proveyendo también elementos tales como probetas y los bastidores de montaje de cupones de monitoreo.

- Los talleres mecánicos de la CNEA realizaron los trabajos de maquinado mecánico necesarios.

- Los laboratorios de análisis químicos de Plantas Químicas del Centro Atómico Ezeiza y la empresa INVAP S.E. tuvieron a su cargo los análisis de las muestras de agua extraídas de los sitios de almacenamiento.

- No sería posible concretar estas actividades sin la colaboración de los responsables y operadores de las distintas facilidades involucradas en este estudio: Reactor RA-1 (Centro Atómico Constituyentes), Reactor RA-3 (Centro Atómico Ezeiza), Área de Gestión Ezeiza (Centro Atómico Ezeiza), Plantas Químicas (Centro Atómico Ezeiza), Reactor RA-6 (Centro Atómico Bariloche) y Facilidad de Almacenamiento de Combustible Irradiado de reactores de Investigación (Centro Atómico Ezeiza).

Referencias

¹ O.E. Novara, "Argentine experience in shipping irradiated fuel to the United States of America", IAEA-TECDOC-1593 (2008).

² T. Andes, R. Castles, S. Large, C. Robinson and R. Sindelar, "Inspection of RA-3 spent fuel assemblies at CNEA's Central Storage Facility at Ezeiza", Report WSRCTR-2000-0001, Jan 2000.

³ Galvele, J.R. y De Micheli, S.M. de, Corros. Sci., 10 (1970) pág. 795.

⁴ IAEA CRP "Corrosion of Research Reactor Aluminium Clad Spent Fuel in Water (Phase I)" (1996-2000).

⁵ IAEA CRP "Corrosion of Research Reactor Aluminium Clad Spent Fuel in Water (Phase II)" (2002-2005).

⁶ IAEA TC Regional Project RLA/4/018, "Management of Spent Fuel from Research Reactors" (2001-2004).

⁷ Curso International "Recommended practices for water quality management in research reactors & spent fuel storage facilities", Ljubljana (Slovenia), December 2007.

⁸ Confección y redacción del documento del OIEA "Good practices for water quality management in research reactors & spent fuel storage facilities", IAEA Nuclear Energy Series NP-T-5.2 (2011).

⁹ J. R. Galvele y G. S. Duffó, "Degradación de materiales - I Corrosión", Jorge Baudino Ediciones, ISBN 987-9020-58-8.

¹⁰ S. Rodríguez, L. Lanzani, A. Quiroga, E. Silva and R. Haddad, "Study of the effect of sedimented particles on the corrosion behaviour of aluminum clad spent fuel during storage in water", Proceedings of the international conference on "Research Reactor Utilization, Safety, Decommissioning, Fuel and Waste Management", 10-14 November 2003, Santiago, Chile.

¹¹ Roberto E. Haddad, Liliana Lanzani y Sebastián Rodríguez, "Mecanismos de corrosión de aleaciones de aluminio en aguas de baja conductividad", Jornada CONAMET/SAM 2006, 28 de noviembre al 1 de diciembre de 2006, Santiago, Chile.

Trabajo presentado en la XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 1 al 5 de diciembre de 2014

LCRD: El guardián de la memoria institucional

CALVO, A. M.; MIRANDA, M. V. - Comisión Nacional de Energía Atómica

Desde el año 2005 hasta el presente, en que se organizó el LCRD (Laboratorio de Conservación Preventiva y Restauración de Documentación de CNEA) con fondos del último concurso de la Fundación Antorchas para Bibliotecas, se están prestando servicios institucionales y a terceros. El objetivo fundamental fue y es el tratamiento -utilizando radiación gamma- de documentos y libros valiosos y únicos que hayan sufrido una infección por microorganismos o insectos y estén en peligro de pérdida permanente, así como su recuperación, puesta en valor y cambio de soporte mediante la digitalización. Para su tratamiento se ha investigado en cada caso la dosis y la tasa de dosis correcta de radiación gamma que debía aplicarse en el material documental para no producir mayor deterioro.

Utilizando esta técnica se han recuperado la colección de Boletines Administrativos Públicos de CNEA (BAP's), 9 cajas de publicaciones periódicas del Centro de Información CICAC, y otros materiales bibliográficos de mucha importancia institucional que habían sufrido una mojadura y posterior infección fúngica.

A terceros se les ha tratado, restaurado y digitalizado el Fondo Documental del Servicio Paz y Justicia (SERPAJ) nominado por UNESCO "Patrimonio de la Humanidad", y al Convento San Francisco fundado en 1619, el Fondo de Reliquias Auténticas de Santos del Museo José Bottaro, entre otros documentos valiosos y únicos.

Como único laboratorio en Argentina que utiliza la radiación gamma como técnica de tratamiento para el control de infecciones fúngicas en documentos y libros, se profundizan las investigaciones compartiendo resultados con otros países (Rumania, Italia, Holanda y Brasil). La tarea de difusión se realiza mediante la participación en Jornadas de Conservación de Patrimonio Cultural o en su organización (junto al Instituto Oncológico Ángel H. Roffo y al Laboratorio Roche), en coloquios, (Francia, Córdoba, Rosario), ferias (CAB-IB 2012, 2013, 2014) y en eventos culturales sobre conservación y restauración de patrimonio cultural (Biblioteca Nacional, Fundación Ortega y Gasset, etc.).

Se ha participado en un libro electrónico coordinado por la Dra. Marina Garone, especialista en Tipografía Antigua, con la redacción de un capítulo.

Se han presentado en publicaciones y congresos los resultados de las investigaciones sobre las distintas dosis de radiación gamma necesarias para tratar distintos tipos de papeles de uso común en Bibliotecas y Archivos, junto a la Directora del PROCyP (Laboratorio de Celulosa y Papel de la Universidad Nacional de Misiones).

Actualmente se está asesorando al Archivo de Convenios Bilaterales, perteneciente a la Gerencia de Relaciones Institucionales, y al Laboratorio de Dosimetría Personal y de Área para poner en valor sus documentos. Además se está llevando adelante el Proyecto: "Recuperación de la Memoria Fotográfica Institucional".

Since 2005, the Laboratory of Preventive Conservation and Restoration Documentation (LCRD) has given value to the scientific, technical and administrative documentation of CNEA. The laboratory has been organized with the funds granted by the non-profit Fundación Antorchas. The main objective has been to use gamma radiation to control microorganisms and insects in cultural heritage in paper support as a conservation method of bibliographic material in danger of permanent loss. This is done to recover the material, restore it and digitalize it.

For each paper, research has been made of doses and doses rate to take care of this heritage.

LCRD has used gamma rays to control microorganisms in valuable documents and books, such as CNEA's Public Administrative Bulletins (BAP), nine boxes of periodicals from the Information Center of Constituyentes Atomic Center, along with other documents which are of high importance for the industry. This material had got wet and suffered from fungal infection and, thanks to this technique, it was recovered.

Also, a very important documentary collection from the Service of Peace and Justice (SERPAJ) has been treated, restored and digitalized with this technique, declared as "World Heritage Site" by UNESCO. At Museum Jose Bottaro part of Saint Francis Convent, founded in 1619, the Fund of Authentic Relics of Saints has been restored and digitalized along with other valuable documents.

LCRD is the only laboratory in Argentina to use gamma radiation to control microorganisms and insect infestations in documents and books. We have shared investigation results with others countries (Romania, Italy, Netherlands, Brazil).

Knowledge has been shared in Workshops, Seminars, Training Courses, organizing and participating in them.

The chapter "Use of gamma radiation to control microorganisms in books and documents of cultural heritage" has been published in the electronic book "From materiality to conservation" coordinated by Dra. Marina Garone. PROCyP (Laboratory of Cellulose and Paper of the National University of Misiones) and LCRD have presented findings in some researches. Currently we are advising the Archive of Bilateral Agreements of the Department of International Relations Management, and the Laboratory of Personal and Area Dosimetry on preserving and restoring its documents of value.

Furthermore, the Project titled "Recovery of Institutional Photographic Memory" is currently undertaken.

Uso de la radiación gamma como tratamiento de infecciones fúngicas

El ataque fúngico es uno de los problemas más serios en los Archivos, Bibliotecas y Museos, porque no sólo afectan al material, sino especialmente a la salud del personal a cargo del mismo, porque los hongos producen enfermedades. (Sterflinger, K. 2012).

El material bibliográfico infectado por microorganismos debe ser analizado para comprobar si están activos.

El personal debe conocer los daños que producen y cuáles son los parámetros medioambientales que influyen en su desarrollo (Calvo et al., 2009). Si la humedad y la temperatura se mantienen elevadas durante varios días los microorganismos que habitan en el aire pueden desarrollarse rápidamente en el papel y otros materiales orgánicos como el pergamino y el cuero. Los lugares húmedos y sucios permiten su proliferación con rapidez.

El Laboratorio de Conservación Preventiva y Restauración de Documentación (LCRD) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) centra su capacitación en la importancia de la prevención, que es el arma más poderosa para conservar el patrimonio en soporte papel sin contaminaciones de ningún tipo. En caso de haber desarrollo de hongos se considera que la radiación gamma es el mejor tratamiento y el más limpio para erradicarlos, porque es efectivo, no contamina ni deja residuos en el sustrato ni el medioambiente, no afecta la salud humana, y se pueden tratar grandes cantidades de material documental sin desembalar

evitando cuarentenas previas y posteriores, por lo cual se economiza en el tratamiento. Desde el 2001 se utiliza e investiga el uso de esta técnica para tratar fondos valiosos y únicos en soporte papel.

Prevención del desarrollo fúngico:

- Mantener los depósitos y salas limpios y con parámetros ambientales correctos (20° C de temperatura y 50% de HR).
- Evaluar y determinar los posibles focos de humedad o inundación de salas o depósitos (Figura 1).
- Hacer muestreos periódicos, utilizando siempre elementos de protección personal (EPP). Los muestreos permiten detectar y retirar todo lo infectado para ser colocado en bolsas plásticas cerradas, en un ambiente seco y frío o en un "freezer", hasta decidir el tratamiento a seguir.
- Tener Planes de Prevención de Desastre actualizados y personal capacitado y preparado para cualquier emergencia. (Figura 2).
- - Conocer en detalle los distintos métodos de tratamiento para erradicar microorganismos, sus ventajas y desventajas.



Figura 1. Inundación del Archivo de Reactores del Centro Atómico Constituyentes el 3 de abril de 2013



Figura 2. Simulacro de recuperación de material organizado por el LCRD en el Centro Atómico Ezeiza

- Solucionar en forma inmediata cualquier posible desencadenante de un desastre: goteras, ventanas con problemas al cerrar, caños rotos que puedan afectar con sus pérdidas al material o produzcan humedad en las paredes o estanterías, etc. (Figura 3).
- Analizar el tipo de iluminación existente, teniendo en cuenta los problemas de deterioro que provocan en libros y documentos la incidencia de los rayos ultravioleta (UV). Utilizar filtros para UV y ubicar el material bibliográfico en lugares donde no incida la iluminación directamente y en forma continua.



Figura 3. Revisar las estanterías en forma continua



Figura 4. Insecto encontrado en un muestreo

- Determinar el grado de higiene del material documental. Limpiar en forma sistemática y continua libros, documentos, publicaciones y objetos confeccionados en materiales orgánicos, para impedir que cualquier insecto o la flora microbiana presente en la suciedad, puedan atacarlos (Figura 4).
- La limpieza es fundamental para mantener el material en buen estado de conservación (Calvo et al., 2010).

Actividad microbiana

En primer lugar debe determinarse si la mancha existente en el documento o libro es un hongo.

Si el material está mojado, pegajoso y tiene olor a humedad el hongo está activo, en ese caso se debe separar, utilizando los elementos de protección personal (EPP).



Figura 5. Boletines de la Administración Pública infectados por hongos



Figura 6. Libro de horas perteneciente al Convento de San Francisco infectado por hongos

Y se debe colocar en un lugar seco y fresco, dentro de bolsas plásticas bien cerradas, porque están en riesgo la salud de la persona que está en contacto con el material infectado y el resto de la colección (Figuras 5 y 6).

Capacitación para la prevención. Simulacros de recuperación de material documental realizados en el Centro Atómico Ezeiza

La posibilidad de prevenir desastres y/o catástrofes de todo tipo es el fundamento de la conservación preventiva. Por ese motivo el LCRD realizó durante el año 2008 tres simulacros de recuperación de material bibliográfico que había sufrido un desastre climático y un simulacro de evacuación de edificio a causa de un incendio (Figuras 7, 8 y 9). Los simulacros se llevaron a cabo bajo el lema: “Nos capacitamos para capacitar y estar preparados como grupo para dar respuesta a cualquier imponderable”.

Se comprendió la importancia de estar preparados, capacitados y organizados en red, para dar respuesta ante cualquier emergencia.



Figura 7. 1º Simulacro organizado por el LCRD el 19 de junio de 2008



Figura 8. 2º simulacro, 18 de julio de 2008



Figura 9. 3º simulacro, 22 de Agosto de 2008

Los simulacros se ofrecieron al personal de CNEA y de otras instituciones a las que se les prestaban servicios o se estaba en contacto (Convento San Francisco, SERPAJ), Dirección de Museos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Casa de la Memoria, Fundación IWO e INTI). Con ellos se trató de dar respuesta a la escasa posibilidad de formación gratuita ofrecida a bibliotecarios, archivistas y administrativos, a la poca importancia que muchas

veces las instituciones le dan a la prevención de desastres y a la falta de capacitación del personal para afrontarlos.

Entre otras cosas se comprobó que gran parte del material que sufre un desastre no llega a tiempo a ser secado y guardado adecuadamente antes de las 48 hs. posteriores a la mojadura, eso se debe a la gran cantidad de material con problemas, la falta de personas para recuperarlo y secarlo y la falta de espacios adecuados para su reubicación. Por ello se debe contar con “freezers” y cámaras frigoríficas para congelar lo que no se puede secar. En caso de tener material infectado se deberá investigar cuales son los métodos de tratamiento para erradicar los microorganismos de los documentos y libros y sus beneficios y desventajas, a fin de usar el más adecuado. (Calvo et al., 2009)

Algunos métodos de tratamiento para erradicación de hongos

Los hongos son extremadamente resistentes y erradicarlos es uno de los problemas más serios a resolver. Por eso los tratamientos son agresivos y muchos se hacen con productos altamente tóxicos para la salud del hombre.

Algunas instituciones de Argentina y otros países (como Francia y Serbia), han optado por el uso de fungicidas como el óxido de etileno, eficaz para matar la mayoría de hongos y sus esporas. O por compuestos fungistáticos como el timol o el ortofenilfenol que inactivan algunos hongos. Pero se

debe tener en cuenta que la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha determinado que todos ellos son cancerígenos y dejan residuos gaseosos de gran toxicidad que se van desprendiendo del material tratado a lo largo del tiempo y afectan la salud provocando cáncer. Además los radicales libres que se generan en el sustrato producen severos deterioros en las colecciones.

Cuando se usa el congelamiento las esporas no mueren. Si el daño ha sido leve, luego de descongelar, se seca y limpia y el material se puede conservar sin daños manteniéndolo a temperatura y humedad adecuadas. En los casos en que ha habido infección fúngica y se ha realizado este proceso se deben evaluar periódicamente el estado del material, la higiene del depósito y los parámetros medioambientales.

Algunas instituciones han utilizado la luz del sol como tratamiento, porque la radiación ultravioleta (UV) pueden inactivar hongos, pero se debe tener en cuenta que el UV produce importantes cambios químicos en el papel, según nuestras investigaciones daños mayores que altas dosis de radiación gamma.

Radiación gamma: la opción del LCRD

Los rayos gamma son radiaciones ionizantes de naturaleza electromagnética, al igual que la luz y las ondas de radio, pero que por su elevada energía pueden penetrar a gran profundidad en la materia (Figura 10).

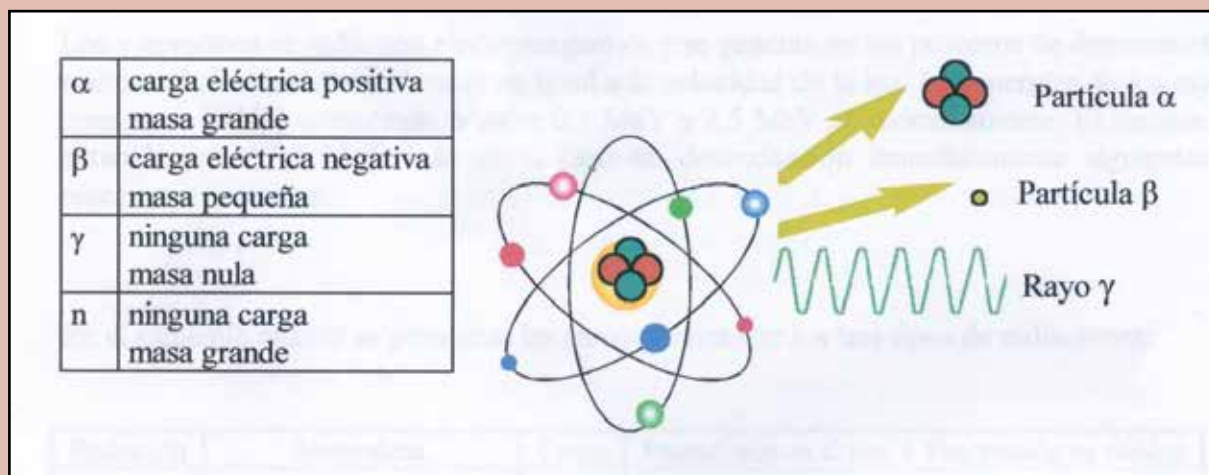


Figura 10. Los rayos gamma penetran profundamente, no dejan residuos y no afectan al medio ambiente

El hombre aprovecha la capacidad biocida de las radiaciones ionizantes y la utiliza en medicina e industria. Las radiaciones ionizantes se utilizan en todo el mundo para matar células enfermas en radioterapia, eliminar microorganismos nocivos en la esterilización de productos de uso médico y alimentos, y en conservación para eliminar agentes de biodeterioro de obras de arte, libros, documentos y patrimonio cultural, en todos sus soportes (Docters, 2011), (Adamo, 2001, 2004, 2007), (Calvo, 2004), (Calvo et al., 2009, 2010)

El recelo provocado a nivel mundial hacia el uso de la energía nuclear por sus usos bélicos, derivó en desconfianza en sus usos pacíficos, entre otros los relacionados con el tratamiento del patrimonio cultural infectado y en proceso de pérdida total (Maggauda et al., 2010), (Calvo, 2004)

La responsabilidad e idoneidad en la aplicación de estos métodos, la realización de ensayos necesarios para cada caso en un laboratorio de microbiología para determinar la dosis correcta, la profundización de las investigaciones y el gran respeto por el patrimonio, permiten avanzar compartiendo y creciendo en equipo entre científicos argentinos y de otros países (Cutrubinis et al., 2008), (Mc Call, 2001), (Calvo et al. 2010), (Havermans, 2009), (Ponta et al., 2007), (Sinco, 2000).

Trabajos e investigaciones desarrollados en CNEA

En la CNEA, en el año 2001 se comenzó a evaluar la factibilidad del uso de la radiación gamma para tratar infecciones producidas por microorganismos

en material patrimonial realizado en soporte papel, como tratamiento previo a su limpieza, restauración y digitalización. Esa investigación fue la base de la Tesis: “El uso de la radiación gamma en papeles para control de microorganismos e insectos como método de conservación para material bibliográfico que se encuentra en peligro de inutilización”, llevada adelante para la Maestría en Conservación Preventiva de Soportes de la Información, por la Lic. Ana María Calvo Junto a su Directora de Tesis, la Dra. en Química María Elisa González. Ambas comenzaron a investigar y a dar respuesta a problemas que fueron surgiendo en el patrimonio institucional entre los que se pueden citar la contaminación fúngica de los Boletines Administrativos Públicos (BAP) que contienen la memoria administrativa institucional; la irradiación de siete cajas de publicaciones periódicas que llegaron por correo postal desde los EE. UU y Europa luego del atentado a las Torres Gemelas que presentaban peligro de contaminación por Ántrax (Figura 11) y la irradiación de revistas y libros infectados por microorganismos a causa de una inundación sufrida en el Centro de Información del Centro Atómico Constituyentes.

A raíz del deterioro sufrido por los BAP's y con el asesoramiento del LCRD se ha construido un depósito donde actualmente se guarda el material administrativo histórico, bajo normas de conservación determinadas por el *International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM)*: con pisos, techo y paredes contruidos en material ignífugo, iluminación conteniendo filtros UV y equipo para regular



Figura 11. Publicaciones irradiadas a dosis cinco veces mayor que la necesaria, en normal uso actualmente en el Centro de Documentación del Centro Atómico Ezeiza

temperatura y humedad a parámetros adecuados de 20 °C y 50 % de humedad relativa. Posee también detectores de humo y de variaciones de temperatura, y sus puertas tienen barrales anti-pánico).

El Laboratorio de Conservación Preventiva y Restauración de Documentación de CNEA (LCRD)

Ante la necesidad de dar una respuesta institucional, organizada y continua a los problemas de conservación, restauración, digitalización y preservación del patrimonio documental institucional que a lo largo del tiempo sufrió situaciones de deterioro por diversos motivos, se presentó a las autoridades un proyecto para la creación de un laboratorio de conservación preventiva y restauración del patrimonio institucional en soporte papel. También se pidió autorización para presentar el proyecto al Concurso para Bibliotecas realizado por Fundación Antorchas en el año 2003. Se obtuvo la aceptación y el proyecto ganó el concurso. Se buscó un lugar adecuado para instalar el laboratorio y con la colaboración de mucho personal, formando un gran equipo, se trabajó en la organización y puesta en marcha del mismo.

Tareas realizadas desde 2005

Desde su inauguración el 22 de agosto del año 2005, el LCRD, además de llevar a cabo trabajos de investigación, ofrece servicios internos y a otras instituciones.

Investigaciones

- Efectos de la radiación gamma en distintos papeles de uso común en bibliotecas y archivos.
- Evaluación de dosis y tasas de dosis adecuadas para cada tratamiento de libros y documentos infectados por microorganismos, realizada con la Ing. Andrea Docters, Jefa de la Planta Semi Industrial del CAE (PISI), y el Laboratorio de Celulosa y Papel de la Universidad Nacional de Misiones (PROCYP).
- Interacción de los resultados obtenidos en las investigaciones con científicos de Rumania, Italia, Holanda, Brasil y otros países.
- Presentación de los resultados de las investigaciones y la experiencia en los trabajos realizados en Congresos, Talleres, Seminarios y Coloquios (Figura 12).
- Presentación en 2013 en Draguignan, Francia, de las experiencias positivas del LCRD con los tratamientos utilizando radiación gamma para



Figura 12. Presentación de Poster en el Seminario del American Institute Conservation, Denver, Colorado, Estados Unidos, Abril de 2008

control de microorganismos y posterior puesta en valor, restauración y digitalización de patrimonio institucional y de otras instituciones (Figura 13).

Servicios

- Diagnósticos de fondos bibliográficos y documentales.
- Evaluación de parámetros medioambientales y edificios de archivos y bibliotecas.
- Puesta en valor de fondos únicos y valiosos, infectados por microorganismos, tratados en la PISI, a dosis determinadas por análisis de dosis realizados en el Laboratorio de Microbiología del Centro Atómico Ezeiza, y su posterior limpieza, restauración y digitalización, sin peligro para la salud de los conservadores que trabajan en su restauración.
- Publicación del capítulo "El uso de la radiación gamma para control de microorganismos en libros de valor patrimonial", en el libro electrónico coordinado por la Dra. Marina Garona, "De la Materialidad a la Conservación".
- Confección de cajas y contenedores de conservación para libros y documentos.
- En 2011 se participó en la Feria de La Rural en celebración de los 60 años de CNEA con el "stand": "Guardianes de la Memoria".
- En 2012, 2013 y 2014 se participó en la Muestra CAB-IB con el "stand": "Guardianes de la Memoria" capacitando a padres, docentes y niños en temas de conservación, limpieza, restauración y tratamiento usando radiación gamma, de libros y documentos infectados por microorganismos.



Figura 13. Conferencia en el Coloquio “Conservación y Restauración, Salud de las personas y cuidado del medioambiente”. Draguignan, Francia, 17-21 de junio de 2013

Trabajos prácticos de restauración y limpieza de material documental (Figura 14).



Figura 14. Participación en la Muestra CAB-IB Capacitando a docentes, alumnos y público en general en temas de conservación de libros y documentos

- Capacitación en temas de conservación preventiva, restauración y temas relacionados a la institución y a terceros (Figura 15).



Figura 15. Curso “Técnicas de Restauración de Bienes Culturales” del LCRD

- Organización y participación en jornadas, cursos y talleres de conservación de patrimonio.
- Análisis de papeles y pegamentos que se utilizan para hacer la restauración de documentos y libros (Figura 16).

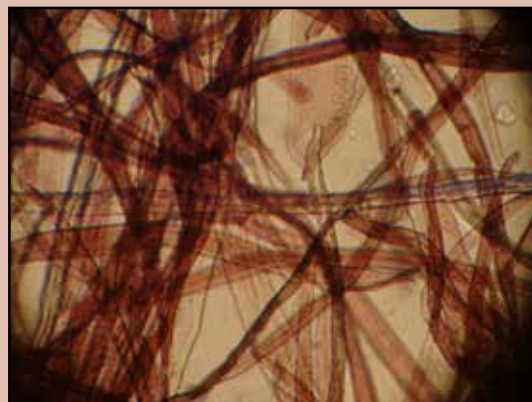


Figura 16. Análisis químicos de los papeles, (análisis de fibras), utilizados para las restauraciones por el LCRD

- Redacción de un Tutorial para realizar correctamente el secado de material documental en soporte papel mojado, que está en la página Web de la CNEA.
- Se ha trabajado un fondo documental perteneciente al Servicio de Paz y Justicia (SERPAJ), denominado

por UNESCO “Memoria de la Humanidad”, formado por tres mil seiscientos documentos que habían sufrido muy severas mojadura e infección fúngica. Los mismos pudieron salvarse habiéndose tratado en la PISI con radiación gamma y en la actualidad están limpios y restaurados, guardados en carpetas alcalinas, dentro de cajas libres de ácido, a temperatura y humedad adecuadas.

- Se limpiaron, restauraron y digitalizaron 275 Auténticas de Reliquias de Santos pertenecientes al Museo José Bottaro del Convento San Francisco de Asís.
- A esa institución se le restauró y digitalizó un Decreto firmado por el General Juan Domingo Perón, una carta del autor de la escultura que está en el frontis del Convento y varios documentos más de gran importancia.
- Se comenzaron a confeccionar los documentos necesarios para la certificación del LCRD bajo Norma ISO 9001: 2008.

Todos los fondos bibliográficos y documentales en los que se ha trabajado son muy valiosos y únicos, han sido recuperados para su uso normal, asesorando siempre al personal a cargo sobre la correcta forma de guarda y limpieza.

En general se ha trabajado con fondos que han sufrido mojaduras de algún tipo y posteriormente desarrollaron microorganismos a causa de la falta de higiene y/o las malas condiciones de temperatura y humedad en las que se encontraban guardados. Sólo las siete cajas de publicaciones que llegaron luego del atentado a las Torres Gemelas se irradiaron por prevención y a dosis muy superiores a las necesarias para infecciones fúngicas y siguen en normal uso en el Centro de Documentación del CAE.

Tareas actuales

Desde fines del año 2013 se está trabajando con personal de la Gerencia de Comunicación Social en el Proyecto Institucional: “Recuperación de la Memoria Fotográfica Institucional”.

El proyecto consta de dos grandes etapas. La primera etapa se ocupó de la descripción, limpieza, restauración, guarda definitiva y digitalización de un fondo fotográfico de 600 fotos históricas en blanco y negro, color y diapositivas cuyas imágenes muestran las distintas etapas de la construcción de algunos edificios del CAE (LPR, Reactor RA-3, FIR, IPQ Celdas de Planta PR2, Fábrica de Uranio, entre otros.), entregadas al laboratorio por el Ing. Carlos Stevens, quien las tenía a cargo.

La segunda etapa del proyecto consiste en la

descripción, limpieza, restauración, digitalización y guarda definitiva e ingreso al Repositorio Institucional de 16.000 fotografías históricas en blanco y negro, color y diapositivas que están a cargo de la Gerencia de Comunicación Social, cuyas imágenes corresponden a los distintos eventos institucionales como cursos, inauguraciones de las instalaciones relevantes, regionales, etc. (Figuras 17 y 18).



Figura 17. Limpieza de fotos históricas del CAEF



Figura 18. Guarda definitiva de fotos en sobres y cajas libres de ácido

Se está capacitando, asesorando y colaborando con el personal del Laboratorio de Dosimetría Personal y de Área (DPA) en la puesta en valor, limpieza, confección de carpetas, indización y confección de cajas para los expedientes que deben ser guardados por 50 años (Figura 19).



Figura 19. Personal del DPA capacitándose en la limpieza para preservar sus expedientes

El personal del el Archivo de Convenios Bilaterales perteneciente a la Gerencia de Relaciones Institucionales ha solicitado la capacitación y el asesoramiento para la limpieza, conservación, restauración, y guarda adecuada de los Convenios que se firmaron desde la creación de la CNEA al presente (Figura 20).



Figura 20. Los Convenios históricos se están restaurando, y guardando en forma definitiva

Conclusiones:

Las investigaciones sobre el uso de la radiación gamma para control de microorganismos en libros y documentos de valor patrimonial en peligro de pérdida y su aplicación comenzaron en el año 2001, pero desde el 2005 al presente el LCRD ha logrado profundizarlas en la interacción de experiencias con colegas argentinos y de otros países.

En estos años se han multiplicado los asesoramientos, servicios y capacitaciones sobre la importancia del uso de la radiación gamma para el tratamiento de infecciones fúngicas en el patrimonio en soporte papel, habiéndose tratado importantes fondos documentales.

Se brindan múltiples servicios y capacitaciones en todo lo referente a la Conservación Preventiva y Preservación de Patrimonio Cultural en soporte papel, tanto a la institución como a terceros.

Pero el logro más importante ha sido comenzar a dar respuesta a las necesidades de la CNEA para que el patrimonio institucional sea preservado en el tiempo y el personal a su cargo esté capacitado para gestionarlo y conservarlo adecuadamente.

Agradecimientos

El LCRD agradece profundamente a las Autoridades y miembros de la CNEA que han apoyado desde el comienzo su gestión y a los responsables de los distintos archivos que han confiado en él.

BIBLIOGRAFÍA

- Adamo, M. (2001) "Gamma radiation treatment of paper in different environmental conditions" *Restaurador*, 22, pp 107-131.
- Adamo, M.; Maggauda, G.; Tata, A. (2004) "Radiation technology for cultural heritage restoration" *Restaurador*, 25, pp.159-170.
- Adamo, M.; Maggauda, G.; Rochetti, F. (2007) "The effect of γ -radiation on acidified and artificially aged paper", *Restaurador*, 28, pp. 227-238.
- Calvo, A. M.; González, M. E. (2001) "Irradiación de papel para control de microorganismos", *Revista CNEA*, abril- junio, 2 pp. 25-27.
- Calvo, A. M. (2004) Tesis: "El uso de la radiación gamma en papeles para control de microorganismos e insectos como método de conservación para material bibliográfico que se encuentra en peligro de inutilización". Director de Tesis Dra. Maria Elisa González, Buenos Aires, 120 p.
- Calvo, A. M.; González, M. E; Alfaro, L; Miranda, M. V. (2009) "Laboratorio de Conservación y Restauración de Colecciones en Papel de la CNEA: tratamiento de libros y documentos atacados por microorganismos usando rayos gamma", *Revista CNEA*, (35-36), pp. 31-35.
- Calvo, A.M; Alfaro, L.S; Miranda, M.V; Chinen, S. (2010) "Simulacros de desastre climático y recuperación de material bibliográfico en el marco de la conservación preventiva en Patrimonio Cultural: la gestión el arte, la arqueología y las ciencias exactas aplicadas", Buenos Aires, CNEA, 2010, pp. 197-201.

- Calvo, A. M.; Alfaro, L. S.; Miranda, M. V.; Area, M. C.; Felissia, F., (2010) "Comportamiento del papel de celulosa frente a la irradiación a distintas dosis y el envejecimiento acelerado". Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, 22-25 de noviembre, Hotel Claridge, Buenos Aires.
- Calvo Torras, M. A; Adelantado, C.; Corcuera M. E. (2005) "Criterios: Principales características de los hongos causantes de alteraciones en materiales celulósicos", PH Boletín Andaluz del Patrimonio Histórico, N° 53, p. 18-23.
- Cutrubinis, M.; Tran, K.; Bratu, E.; Caillat, L.; Negut, D.; Niculescu, G., (2008) *International Conference on Wood Science for Preservation of Cultural Heritage. "Disinfection and consolidation by irradiation of wooden samples from three Romanian churches: Mechanical and biological factors"*, Museu D. Diogo de Sousa, 5-7 november, Braga (Portogallo).
- Docters, A. (2011) Comisión Nacional de Energía Atómica. "Uso y aplicación de la radiación. Planta de Irradiación Semi Industrial de Ezeiza (PISI)". http://web.cnea.gov.ar/pdfs/divulgacion/08_pantas_radiacion.pdf
- González, M. E.; Calvo, A. M.; Kairiyama, E., (2002), "Gamma Radiation for Preservation of Biologically Damaged Paper". XII International Meeting on Radiation Processing, 26-30 March 2001, Avignon, France. *Radiat. Phys.Chem.* 63, p. 263 – 265.
- Guiomar, M. (1995) "The applicability of gamma radiation to the control of fungi in naturally contmined paper" *Restaurator*, v.16, pp.93-99.
- Havermans, J. (2009) "COST, Standards for cooperation in Science and Technology" en *Durability of Paper and Writing 2: Book of Abstracts 2nd International Symposium and Workshops*, Ljubljana, Slovenia, July 5-7 2008/ Editors Matija Strlic and Jana Kolarj, Ljubljana, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, 2008. pp. 12-14.
- IAEA Regional Project RER 207030, (2009-2011). "Nuclear Techniques for Characterisation and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the European Region".
- ISOTRON www.isotron.com
- Maggauda, G.; Adamo, M. (2010), "La bonifica dei beni culturali cartacei dai biodeteriogeni per mezzo delle radiazioni ionizzanti. E se in Italia una biblioteca viene allagata?E se le acque di fogna sommergono un archivio storico?", *Kermes, La Ricerca*, 79, pp. 70-75.
- Morris, J., (1999), "Saving the Books", *Disaster Recovery Journal*, v. 2 (4), pp. 12.
- Norma ISO 5630-3 (1996), "Paper and Board. Accelerated ageing. Part 3: Moist heat treatment at 80°C and 65 % relative humidity". 6 p.
- Norma TAPPI 494 om96 (1996) "Tensile Breaking Properties of Paper and Paper board. Using Constant Rate of Elongation Apparatus", TAPPI, 4p.
- Norma UNE 57092-4 (2002). "Papel y Cartón. Envejecimiento acelerado. Pte. 4: Tratamiento con calor húmedo a 80° C y 65% de HR". Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). 8p.
- Norma UNE 57092-1 (2002). "Papel y Cartón. Envejecimiento acelerado con calor seco a 105° C". Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). 6p.
- Olcott P. L. Traducción: Alan H. y voluntarios de APOYO (Asociación Para la Conservación del Patrimonio Cultural de las Américas). Verano 1999. "Cómo controlar una invasión de moho. Pautas para una intervención en caso de desastre". Apoyo9, 6p. http://imaginario.org.ar/apoyo/vol9-1_3-htm
- Ponta, C. C.; Moise, I. V; Georgescu, R.; Negut, D.; Bratu, E.; Virgolici, M.; Manea, M.; Cutrubinis, M. (2007) "Conservation by gamma radiation" COST ACTION IE0601, 8-9 giugno. *Wood Cult. Her. 2nd Joint Meeting*, Tervuren (Belgium).
- Ray, E. (2006) "The Prague Library Floods of 2002", *Libraries & Culture. Crisis and Experimentation*, .41 (3) pp. 381-391.
- Sinco, P. (2000) "The use of gamma rays in book conservation", *Abbey Newsletter*. v.24(2), pp. 38-40.
- Sterflinger, K; Pinzari, F. (2012) "The revenge of time: fungal deterioration of cultural heritage with particular reference to books, paper and parchment", *Environmental microbiology* ", 14(3), pp.559-566.

Trabajo presentado en la XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 1 al 5 de diciembre de 2014

Estudio RELID 2014 en Buenos Aires - Argentina

PAPP, C.¹ ; ROMANO-MILLER, M.²; DESCALZO, A.³; MICHELIN, S.⁴; MOLINARI, A.⁴; ROSSINI, A.⁴; PLOTKIN, C.⁵; BODINO, G.⁵; ESPERANZA, G.⁵; DI GIORGIO, M.⁴; TOUZET, R.

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica - ² Sanatorio Otamendi - ³ Colegio Argentino de Cardioangiólogos Intervencionistas - ⁴ Autoridad Regulatoria Nuclear - ⁵ Hospital Oftalmológico Santa Lucía

Los altos niveles de radiación dispersa en la práctica médica intervencionista y el incremento del número y complejidad de los procedimientos pueden conducir a opacidades en el cristalino de los profesionales, si no se utilizan los elementos de protección necesarios. Dichas opacidades presentan ciertas características particulares que permiten asociarlas a la radiación ionizante. En el año 2008 el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) inició a nivel internacional el estudio RELID (Evaluación Retrospectiva de Lesiones en el Cristalino y Dosis). En el año 2010 se realizó el estudio por primera vez en Argentina en el marco del Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Cardioangiólogos Intervencionistas y recientemente, en el año 2014, se realizó por segunda vez en el marco del Congreso SOLACI-CACI 2014. En este estudio se evaluaron los cristalinios de 115 profesionales: cardioangiólogos intervencionistas, técnicos y enfermeros; previamente completaron un cuestionario, y previa dilatación ocular, se observaron ambos cristalinios con lámpara de hendidura y se asignó un índice de opacidad de acuerdo a la escala de Merriam-Focht. El 91,5 % de cardioangiólogos intervencionistas, el 77 % de técnicos y el 100 % de enfermeros presentaron opacidades subcapsulares posteriores características, aunque no exclusivas, de la exposición a la radiación ionizante, de acuerdo a la estadificación de las lesiones a través del índice de Merriam-Focht. Cambios similares fueron encontrados en sólo 10-12 % de los individuos en los grupos control de los estudios RELID realizados con anterioridad. El estudio RELID 2014 Argentina, resulta de particular importancia, dado que permitió realizar el seguimiento a 10 profesionales evaluados en 2010, considerando los índices de opacidad y los cambios en las condiciones de protección. Los resultados obtenidos en la población estudiada resaltan la importancia de la disponibilidad y correcta utilización de los elementos de protección radiológica, así como también de la capacitación y entrenamiento del personal.

RELID study 2014 in Buenos Aires - Argentina

High levels of radiation scattered in interventionist medical practices and the increase of the number and complexities of necessary procedures could lead to opacities in professionals' crystalline, in the event that necessary protection elements are not used. Such opacities present certain particular characteristics which enable us to associate them with ionizing radiation. In 2008, the International Atomic Energy Agency (IAEA) started the RELID study (Retrospective Evaluation of Lents Injuries and Doses) at an international level.

RELID was performed in 2010 in Argentina for the first time and in 2014 for the second time. During these studies, the crystalline of 115 professionals were assessed: interventionist angiologists, technicians and paramedics.

Prior to the studies, they had completed a questionnaire and, after ocular dilatation, both crystalline were observed with a slit lamp, and an index of opacity according to the Merriam-Focht scale was assigned. 91.5 % of interventionist angiologists, 77% of technicians and 100% of paramedics have shown the characteristic posterior capsule opacification, if not exclusive, of ionizing radiation exposition according to the Merriam-Focht scoring scale for injuries staging. Similar changes were found at only 10-12% of individuals among the control groups of RELID studies previously performed.

The 2014 RELID study in Argentina is of particularly importance because it allowed the follow up of 10 professionals who were also evaluated in 2010, taking into account the opacities index and the changes in protection conditions. The result obtained in the studied population highlights the importance of personnel training and of the availability and correct use of the radiation protection elements.

1. Introducción

1.1. Situación en la sala de hemodinamia

De las aplicaciones médicas que utilizan rayos X, la hemodinamia resulta ser una de las más complejas en cuanto a protección radiológica. Esto se debe, principalmente, a las elevadas tasas de dosis tanto para el paciente como para el personal, el tiempo de exposición y particularmente, a las características relativas al trabajo en sí de la intervención.

Las tasas de dosis en el punto de entrada en piel del paciente pueden estar entre los 15 mGy/h hasta los 150 mGy/h en fluoroscopia [1], en condiciones normales de trabajo y con equipos controlados bajo un programa de control de calidad. Un procedimiento típico diagnóstico como la angiografía coronaria puede impartir al paciente una dosis efectiva de referencia de 3,1 mSv (equivalente a 155 placas de tórax), mientras que un procedimiento terapéutico como la angioplastia coronaria percutánea transluminal (PTCA) una dosis efectiva de referencia de 15,1 mSv (equivalente a 755 radiografías de tórax) [2]. La radiación dispersa generada en el paciente es la principal fuente de dosis de radiación para el trabajador, por lo cual, una dosis elevada al paciente implicará una tasa de dosis elevada para el personal. El médico que realiza la intervención (operador), puede estar expuesto a tasas de dosis sin elementos de protección de 0,5-2,5 mSv/h a la altura de la cabeza, 1-5 mSv/h a la altura de la cintura y 2-10 mSv/h a la altura de la pierna [3].

El médico intervencionista es quien se sitúa más próximo al tubo de rayos X y al paciente, normalmente suele situarse a solo 50 cm en promedio, mientras que el personal de apoyo (técnicos y enfermeros) a más de 1 metro de distancia en promedio durante la intervención. El trabajo del médico operador implica que se sitúe de frente a la camilla del paciente, estando su lado izquierdo más próximo tanto al punto de entrada del haz al paciente como al equipo de rayos X. Por lo tanto, las dosis recibidas en el lado izquierdo suelen ser superiores, como se ha demostrado en varios estudios realizados [4].

Las tasas de dosis sin elementos de protección son elevadas y la dosis recibida por los distintos órganos podría ser alta dependiendo de la cantidad de horas de trabajo (carga semanal, tipo y complejidad de los procedimientos) y fundamentalmente del uso de los elementos de protección adecuados.

1.2. Sistemas de protección

La disponibilidad, el uso adecuado y el estado de los elementos de protección son fundamentales para la protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto (POE). De acuerdo a la Resolución N° 2680/68, Normas Básicas de

Seguridad Radiosanitaria” Disposición 3.4. “El dueño de las instalaciones debe contemplar la utilización de los medios de protección más adecuados, a fin de impedir que tanto el personal como el público puedan recibir dosis superiores a las establecidas” [5].

En el caso de las salas de hemodinamia, los elementos de protección pueden ser clasificados en dos grandes grupos: elementos de protección personales (delantal, collar tiroideo y gafas plomadas) y elementos de protección móviles (pantallas suspendidas del techo o biombos plomados, y cortinillas plomadas colgadas de la camilla del paciente).

Para la protección del cristalino es fundamental que todo el POE utilice gafas plomadas, y que el operador utilice durante la intervención la pantalla suspendida del techo para protección del tronco y cabeza. El personal de apoyo puede utilizar además algún biombo móvil plomado. Según trabajos realizados [6], los cristales de las gafas plomadas equivalentes a 0,25 mm Pb pueden atenuar casi hasta un 60 % de la radiación dispersa que alcanza el cristalino de los cardioangiólogos intervencionistas, 52 % en técnicos y 45 % en enfermeros. De forma generalizada, se estima que las gafas atenúan al menos el 50 % de la radiación dispersa.

Los elementos deben estar disponibles en el servicio, como se mencionó con anterioridad, lo cual debe ser contemplado por el dueño de la instalación como establece la normativa. No obstante, deben ser utilizados por el personal de forma adecuada al igual que su cuidado y limpieza para garantizar la durabilidad de los mismos.

1.3. Dosimetría personal

En intervencionismo, los campos de exposición son inhomogéneos dado que las tasas de dosis varían continuamente incluso en un mismo procedimiento, dependiendo de la zona a irradiar, proyección, campo, etc.

Como se mencionó con anterioridad, las dosis recibidas pueden ser elevadas, por lo tanto, es importante un control dosimétrico adecuado e incluso el uso de doble dosímetro, como lo recomendado internacionalmente por el NCRP¹ en su publicación N° 122 [7]. El uso del doble dosímetro (uno debajo del delantal plomado a la altura del pecho y otro por fuera sobre el collar tiroideo) permite una mejor estimación de la dosis efectiva y de la dosis en el cristalino.

La necesidad de implementación de uso de doble dosímetro para los operadores en primera instancia fue manifestada por el Ministerio de Salud de la Nación Argentina en el año 2013, fecha a partir de la cual los servicios comenzaron a implementarlo. De acuerdo al Decreto N° 6320/68 Art. 25 del Ministerio

de Salud “El responsable de cada instalación asignará a cada persona afectada al manejo y utilización de equipos destinados a la generación de rayos X, un dosímetro cuya utilización se dispondrá en forma que permita la individualización de las dosis” [5].

1.4. Efectos biológicos de la radiación en el cristalino

Varios estudios han demostrado que el cristalino es uno de los tejidos más radiosensibles aún en personas expuestas a bajas dosis de radiación ionizante, incluyendo a profesionales expuestos por su uso en medicina [8].

Generalmente, las cataratas causadas por las radiaciones ionizantes difieren de las causadas por la edad, y están asociadas a la región subcapsular posterior o son corticales [9]. El proceso de opacidad por radiación se genera en la superficie anterior del cristalino desde donde las células epiteliales germinativas comienzan a migrar hacia la parte subcapsular desarrollando una anormal proliferación y diferenciación. Asimismo, se generan alteraciones en el plegamiento y formación de las proteínas, lo cual implica una posible alteración en el ADN como evento primario responsable de la formación de cataratas [10].

En estudios anteriores se demostró la existencia de cataratas radioinducidas en el personal que trabaja en las salas de intervencionismo, dado que las dosis acumuladas por exposición a rayos X pueden ser elevadas [11].

Actualmente el límite de dosis en cristalino es de 150 mSv/año. En el año 2011, la ICRP² emitió un comunicado (teniendo en cuenta las nuevas evidencias epidemiológicas), donde se recomienda como límite de dosis para los trabajadores una dosis equivalente en cristalino de 20 mSv/año, en promedio por períodos de 5 años, no pudiendo exceder en un año los 50 mSv [12].

1.5. Antecedentes estudio RELID

En el año 2008 el OIEA inició a nivel internacional el estudio RELID³. Esta evaluación retrospectiva de lesiones en el cristalino y dosis se realizó por primera vez sobre trabajadores de cardiología intervencionista en Bogotá, Colombia [13].

En el año 2010 se realizó el estudio en Argentina en el marco del Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Cardioangiología Intervencionistas (SOLACI).

Con el objetivo de continuar con este trabajo y realizar un seguimiento en algunos de los profesionales que se desempeñan en cardiología intervencionista que fueron evaluados en el año 2010, el estudio se realizó por segunda vez en la Argentina en el SOLACI-CACI 2014. En el presente trabajo se muestran los primeros resultados de este último estudio.

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño del estudio

El presente trabajo fue realizado durante el Congreso Internacional de la Sociedad Latinoamericana de Cardiología Intervencionista y el Colegio Argentino de Cardioangiología Intervencionista (SOLACI – CACI 2014), en Buenos Aires, del 23 al 25 de abril de 2014. El estudio fue organizado por un grupo interdisciplinario de profesionales incluyendo especialistas en protección radiológica, físicos médicos, cardioangiólogos intervencionistas y un grupo de oftalmólogos coordinado por la oftalmóloga que realizó el estudio RELID 2010 en conjunto con un equipo del OIEA.

Corresponde al primer Estudio RELID en reevaluar las opacidades del cristalino en profesionales cuatro años después de la primera evaluación en el Congreso SOLACI-CACI 2010, considerando particularmente si hubo o no variación en la carga de trabajo y el uso de elementos de protección personales (gafas plomadas y pantallas plomadas suspendidas del techo de la sala).

Se utilizó la metodología y criterio similar al estudio realizado con anterioridad a fin de comparar los resultados obtenidos, no solo con otros estudios RELID realizados en el mundo si no también particularmente en aquellos participantes evaluados por primera vez en 2010, y reevaluados en 2014 a modo de seguimiento.

2.2. Participantes en el estudio

Los participantes asistieron al Congreso e ingresaron al estudio en forma voluntaria. Previo a la realización del estudio oftalmológico, cada participante completó un consentimiento informado, una historia clínica (incluyendo estudios radiológicos previos, como tomografías de cabeza), una oftalmológica, y otro formulario referente a las condiciones de trabajo con radiaciones ionizantes (años de trabajo en una sala de cardiología intervencionista, elementos de protección utilizados y frecuencia de uso, carga de trabajo típica en diagnóstico y en terapéutica, detalles de los procedimientos, uso de dosimetría personal, etc.).

Se enrolaron 151 participantes de ambos sexos y en un rango etario de 23-68 años, de los cuales 36 fueron excluidos. Por lo tanto, en el estudio se incluyeron un total de 115 personas: 47 cardioangiólogos intervencionistas, 53 técnicos y 15 enfermeros. De los 115 participantes, 10 corresponden a profesionales evaluados previamente en 2010 (5 cardioangiólogos intervencionistas, 4 técnicos y 1 enfermero).

Los criterios de exclusión fueron: omisión de datos relevantes en el consentimiento informado; falta

de realización del estudio oftalmológico completo por diferentes razones; afecciones como diabetes, antecedentes de uveítis y/o uso de corticoides sistémicos; no trabajar en una sala de hemodinamia.

El grupo control no fue evaluado específicamente para el presente estudio, sino que se consideró de un estudio RELID anterior, Congreso SOLACI en Bogotá [14]. Este grupo se conformó por 91 voluntarios, quienes reportaron no haber estado expuesto de forma relevante a las radiaciones ionizantes en la zona de la cabeza y del cuello.

2.3. Evaluación de las opacidades en el cristalino

Los cambios posteriores en el cristalino fueron evaluados usando una lámpara de hendidura y un sistema de puntuación modificado de Merriam-Focht (**Figura 1**) [15]. Este sistema de puntuación considera la cantidad de opacidades posteriores y anteriores, vacuolas y otros defectos, y describe la severidad de las opacidades posteriores del cristalino en un rango de 0 a 4,0, con pasos de 0,5. Una puntuación de 0,5, indica cambios tempranos posteriores en el cristalino que pueden a futuro ser opacidades, pero sin embargo son considerados pre-cataratogénicos. Una puntuación de 1,0 en cualquiera de los dos ojos es considerada como el inicio de una opacidad temprana, mientras que una puntuación de 1,5 es considerada catarata en progreso.

El examen oftalmológico se realizó mediante la utilización de una lámpara de hendidura, previa dilatación ocular, a fin de evaluar las opacidades subcapsulares posteriores en cada cristalino asociadas a la radiación, en los participantes del estudio. Una segunda evaluación oftalmológica independiente fue realizada por otro profesional en casos particulares. La dilatación ocular se efectuó con fenilefrina 2.5 % y ciclopentolato 1 %. En el examen se utilizaron dos técnicas complementarias: iluminación directa (vista axial) y retroiluminación (vista sagital). La iluminación directa facilita la localización de las opacidades mientras que la retroiluminación permite tener un amplio campo de visión de las regiones opacas e identificar vacuolas, "dots" y espículas óseas (*spoke-like*) en proyección radial no visibles en iluminación directa oblicua.

3. Resultados

Los resultados del estudio RELID 2014 en Buenos Aires, Argentina, se presentan a modo de tabla de acuerdo a la profesión: cardioangiólogos intervencionistas, técnicos y enfermeros, Tablas 1, 2 y 3, respectivamente.

De acuerdo a la estadificación de las lesiones a través del índice de Merriam-Focht [15], el 86,09% de los participantes en el estudio presentaron opacidades subcapsulares posteriores características

SCORE	APPEARANCE			DESCRIPTION
	Anterior	Posterior	Sagittal	
0				Transparent Lens...NO opacities or dots discernible posteriorly OR anteriorly
0.5				Anterior OR posterior region* has ≤ 4 dots AND the other is transparent
1.0				Anterior OR posterior region has > 4 dots AND the other is transparent
1.5				One region has > 4 AND the other ≤ 4 dots
2.0				Both anterior AND posterior have > 4 dots
2.5				"Cloudy Skies". Vitreous visible through scattered anterior opacification
3.0				Posterior viewable but not vitreous AND anterior has scattered opacification
3.5				Total posterior opacity AND anterior near totally opaque with only occasional breaks
4.0				Anterior cortex completely opaque preventing viewing beyond superficial layers

*Posterior Region is defined as the superficial cortex, which includes the Posterior Subcapsular (PSC) area.

Figura 1. Sistema de puntuación de Merriam – Focht [15]

por exposición a radiación ionizante en al menos uno de los dos cristalinios. Es decir, que de las 115 personas evaluadas, sólo 16 no presentaron opacidades atribuibles a dosis por radiación en ninguno de los dos cristalinios.

De forma más detallada, el 91,49 % de los cardioangiólogos intervencionistas (Tabla 1), el 77,36 % de los técnicos (Tabla 2) y el 100 % de los enfermeros (Tabla 3) presentaron opacidades. Sin embargo, el índice de opacidad promedio de los participantes, resultante de la suma de ambos cristalinios, fue máximo para los técnicos ($1,07 \pm 0,48$, Tabla 2), e inferior para médicos y enfermeros ($0,99 \pm 0,42$ y $0,8 \pm 0,41$, respectivamente, Tablas 2 y 3).

En dos participantes del estudio se encontró que el índice máximo en forma particular para un solo cristalino fue de 1,5. Para la sumatoria de los índices de ambos cristalinios se obtuvo un máximo de 3. Este resultado fue alcanzado por un único participante (técnico con un promedio de 10 años de trabajo con radiaciones ionizantes y que no utilizaba gafas plomadas).

Cardioangiólogos Intervencionistas	Con Opacidad	Sin Opacidad
47 Personas	91,49%	8,51%
Promedio Índice de Merriam-Focht ($\pm$ DE)	0,99 $\pm$ 0,42	No corresponde
Edad promedio ($\pm$ DE)	47,46 $\pm$ 10,25 (31-68)	41,25 $\pm$ 5,91 (33 - 47)
Años de trabajo ($\pm$ DE)	16,78 $\pm$ 11,08	11,50 $\pm$ 5,07
Uso de pantalla plomada "siempre"	26%	50%
Uso de pantalla plomada "a veces"	23%	0%
Uso de pantalla plomada "nunca"	46%	50%
Uso de gafas plomadas "siempre"	33%	67%
Uso de gafas plomadas "a veces"	44%	33%
Uso de gafas plomadas "nunca"	23%	0%
Uso de dosímetros personales	93%	100%
Uso de doble dosímetro personal	41%	25%

DE = Desviación Estándar

Tabla 1. Cardioangiólogos Intervencionistas

De los 43 cardioangiólogos que presentaron opacidades, 6 las tenían sólo en el cristalino derecho, 11 únicamente en el cristalino izquierdo, y 26 presentaron opacidades bilaterales. El estudio de la lateralidad para los 53 técnicos con opacidades reveló que 4 tenían opacidades sólo en el cristalino derecho, 6 en el izquierdo, y 43 presentaban opacidades bilaterales.

Tanto para los cardioangiólogos como para los técnicos (Tablas 1 y 2), la edad promedio y el promedio de años de trabajo fue superior en el grupo de participantes con opacidad, que en el grupo sin opacidad.

En cuanto a los elementos de protección, la pantalla plomada es un importante elemento de protección particularmente para el cardioangiólogo intervencionista (operador). De los operadores con opacidad, sólo el 26 % manifestó utilizar siempre la pantalla plomada, mientras que del grupo sin opacidad la utiliza siempre el 50 % (Tabla 1). El uso de gafas plomadas por los operadores es menor en quienes presentan opacidades que en quienes no presentaron opacidades subcapsulares posteriores (Tabla 1). Para los técnicos y enfermeros fue notable el bajo porcentaje de profesionales que utilizan siempre o "a veces" las gafas plomadas (Tablas 2 y 3).

Técnicos	Con Opacidad	Sin Opacidad
53 Personas	77,36%	22,64%
Promedio Índice de Merriam-Focht ($\pm$ DE)	1,07 $\pm$ 0,48	No corresponde
Edad promedio ($\pm$ DE)	39,25 $\pm$ 9,67 (23-62)	31,09 $\pm$ 8,14 (23-49)
Años de trabajo ($\pm$ DE)	10,43 $\pm$ 8,82	6 $\pm$ 5,65
Uso de pantalla plomada "siempre"	27%	33%
Uso de pantalla plomada "a veces"	14%	25%
Uso de pantalla plomada "nunca"	49%	25%
Uso de gafas plomadas "siempre"	12%	8%
Uso de gafas plomadas "a veces"	17%	33%
Uso de gafas plomadas "nunca"	61%	42%
Uso de dosímetros personales	93%	64%
Uso de doble dosímetro personal	28%	18%

DE = Desviación Estándar

Tabla 2. Técnicos

Enfermeros	Con Opacidad	Sin Opacidad
15 Personas	100%	0%
Promedio Índice de Merriam-Focht ($\pm$ DE)	0,8 $\pm$ 0,41	No corresponde
Edad promedio ($\pm$ DE)	39,64 $\pm$ 10,10 (24-55)	No corresponde
Años de trabajo ($\pm$ DE)	8,71 $\pm$ 5,95	No corresponde
Uso de pantalla plomada "siempre"	7%	No corresponde
Uso de pantalla plomada "a veces"	21%	No corresponde
Uso de pantalla plomada "nunca"	36%	No corresponde
Uso de gafas plomadas "siempre"	7%	No corresponde
Uso de gafas plomadas "a veces"	14%	No corresponde
Uso de gafas plomadas "nunca"	50%	No corresponde
Uso de dosímetros personales	86%	No corresponde
Uso de doble dosímetro personal	14%	No corresponde

DE = Desviación Estándar

Tabla 3. Enfermeros

Respecto a la dosimetría personal se vio que es utilizada por un alto porcentaje de cardioangiólogos intervencionistas con opacidad (93 %, Tabla 1). Si bien la población de estudio es diferente, este porcentaje es marcadamente superior al del grupo evaluado en el año 2010 (48 %) [14]. Para técnicos y enfermeros con opacidades se encontró un porcentaje muy similar (Tablas 2 y 3). Asimismo, un alto porcentaje de participantes, manifestó no contar con sus registros dosimétricos, y por lo tanto desconocer la dosis recibida.

La comparación de los porcentajes de profesionales con opacidades de los grupos estudiados en el RELID 2010 y 2014 se presenta en la Tabla 4. Los resultados obtenidos indican que mientras que en el 2010, el 50 % de los cardioangiólogos evaluados presentó opacidades subcapsulares posteriores, en el 2014 el porcentaje fue del 91,49 %. Referente al personal de apoyo, en el 2010 se analizaron en conjunto técnicos y enfermeros, de los cuales el 41 % presentaron opacidades. En el presente trabajo se optó por analizar por separado ambos grupos de profesionales, dado que las características del trabajo son diferentes dentro de las salas (distancia al equipo y al paciente, movimiento dentro de la sala durante el procedimiento, etc.). En este sentido, los resultados de 2014 indican que el 77,36 % de los técnicos y el 100 % de los enfermeros presentaron opacidades. Cabe destacar, que si bien la cantidad de personas evaluadas entre ambos estudios difieren levemente, la distribución de profesiones es similar en ambos estudios (CI 2010 = 54, 2014 = 47; Técnicos y Enfermeros 2010 = 69, 2014 = 68).

La reevaluación de los 10 profesionales que participaron del RELID 2010 indicó que 6 de ellos evidenciaron un incremento de las lesiones. De estos

6 profesionales, en el año 2010, 5 no presentaron opacidades características o sólo tenían un índice de 0,5 en un solo cristalino en el año 2010, mientras que en 2014 algunos presentaron un índice de 0,5 en ambos cristalinios. Los participantes manifestaron que en sus servicios se utilizan pantallas plomadas y gafas. Como información complementaria se observó que uno de estos profesionales presentaba un índice de 0 en cada cristalino en el 2010, pero en 2014 se le asignó un índice de 0,5 en el cristalino derecho y 1 en el izquierdo (técnico con 9 años de trabajo en intervencionismo, 26 procedimientos en promedio por semana, que utiliza "siempre" las gafas plomadas, pero tiene antecedentes de cataratas en su familia).

4. Discusión

El trabajo con radiaciones ionizantes, aún a bajas dosis, ha demostrado poder causar opacidades subcapsulares en el cristalino de acuerdo a trabajos anteriores [13] [14].

En el presente trabajo se mostró que el 86,09 % de los profesionales que participaron del estudio presentaron opacidades subcapsulares posteriores asociadas al trabajo con radiaciones ionizantes, en comparación con el grupo control tomado de un estudio RELID anterior [16], donde solo el 10-12 % de la población presentó cambios. De los tres grupos de profesionales, el de técnicos fue el grupo que presentó menor porcentaje de participantes con opacidades. Esto podría deberse a las características del trabajo de cada grupo estudiado. Mientras que los técnicos se encuentran normalmente a más de 1 metro del paciente (incluso 2-3 metros), los operadores permanecen prácticamente en una posición fija cercana al paciente y al angiógrafo, y

Profesión	2010 (n = 127)	2014 (n = 115)
Cardioangiólogos	50 %	91,49 %
Técnicos y enfermeros	41 %	***
Técnicos	***	77,36 %
Enfermeros	***	100 %

Tabla 4. Comparación del porcentaje de profesionales con opacidades RELID 2010 (14) y RELID 2014

los enfermeros (si bien rotan en la sala) suelen estar próximos al paciente y no utilizar elementos de protección.

Si bien el porcentaje de profesionales con opacidades es muy elevado en comparación con el Estudio RELID 2010 realizado en Argentina [14], los índices de opacidad asignados de acuerdo a la tabla de Merriam-Focht no fueron elevados, salvo casos concretos. Como se describe en resultados, el profesional con mayor índice resultante de la suma de los dos cristalinos alcanzó el 3. Este dato es llamativo porque, si bien este profesional no utilizaba gafas plomadas, se desempeñaba como técnico y sólo contaba con 10 años de trabajo en el sector. Como se mencionó anteriormente, en general los técnicos se encuentran a una distancia considerable del tubo de rayos X y del paciente. Es un caso particular, que debería evaluarse en cuanto a las condiciones del servicio, posición real de trabajo, revisar su historia clínica, entre otros, remarcando el uso necesario de los elementos de protección, como son las gafas plomadas.

El análisis resultante de profesionales con mayor índice de opacidad en el cristalino izquierdo reflejan las características del trabajo, dado que todo el lado izquierdo suele estar más expuesto y recibir por lo tanto una dosis superior. Estos resultados demuestran la importancia de utilizar la pantalla plomada además de las gafas, así como también si se analizara la dosis en las extremidades inferiores es posible que se resaltara la necesidad del uso de las cortinillas plomadas.

La edad promedio y los años de trabajo en cardioangiología intervencionista superiores en profesionales con opacidades, indican una correlación entre la exposición a la radiación y los cambios en el cristalino.

Los porcentajes de frecuencia de uso de los elementos de protección, particularmente para el grupo de cardioangiólogos y de técnicos, debería evaluarse de forma individual, analizando otros factores de influencia (años de trabajo, distancia de trabajo, cantidad de procedimientos). Asimismo, debería considerarse en un próximo estudio, una estimación del % de uso "a veces" de la pantalla plomada y las gafas.

La falta de uso de elementos de protección o el

uso discontinuo es aún un tema importante a tratar (dado que el porcentaje de uso de elementos no es del 100%, incluso en el grupo que no presentó opacidades), demostrando la necesidad continua de capacitación del personal y de los directivos de las instituciones quienes deben brindar a los trabajadores todos los elementos de protección necesarios para resguardo de la salud.

En el estudio se ha evidenciado que todavía no todos los servicios cuentan con dosimetría personal, motivo también de la necesidad de capacitación y asistencia a las instituciones y jefes de servicio. Sin embargo, es importante destacar que la población de profesionales que utiliza dosímetro es mayor comparado con lo evaluado en 2010. Al mismo paso que se debe avanzar en implementar el servicio de dosimetría, es importante que se implemente el uso de doble dosímetro, particularmente en los operadores, aunque se recomienda que sea para todo el personal que trabaja en la sala. El uso de dosimetría debe ser un punto importante de exigencia en la regulación para poder evaluar las condiciones de trabajo de los profesionales y de la sala en general, dando lugar a alertas o a la optimización de los procedimientos. Parte del trabajo de capacitación debe enfocarse en la comprensión del fin para el cual se utilizan dosímetros y sus respectivas ventajas, considerando no solo usarlo, si no también conocer la dosis individual recibida en cada mes y año de trabajo.

La comparación del porcentaje de profesionales con opacidades entre el RELID 2010 y el realizado recientemente en 2014 ha puesto en atención a los autores del trabajo. Si bien como se dijo, son dos poblaciones de profesionales diferentes (salvo los profesionales reevaluados). Nuevamente estos resultados orientan a la capacitación de los profesionales, al uso de los elementos de protección y posiblemente, a la necesidad de implementar un programa de control de calidad, donde se controlen los equipos de rayos X periódicamente.

La reevaluación de los profesionales que participaron en el RELID 2010 también ha dado un llamado de atención, dado que 6 de 10 incrementaron el índice de opacidad de acuerdo a la estadificación de Merriam-Focht. El caso particular del técnico que no evidenció opacidades en el 2010 y en el 2014 presentó 0,5 en el cristalino derecho

y 1 en el izquierdo debería analizarse de forma individual, considerando que manifiesta por un lado utilizar gafas pero tiene antecedentes familiares de cataratas. Debería considerarse el real porcentaje de uso de elementos de protección, cantidad de procedimientos, distancia de trabajo y antecedentes clínicos.

5. Conclusiones

La cardioangiología intervencionista ha avanzado notablemente en los últimos años y si bien los beneficios clínicos son indiscutibles, la dosis de radiación que puede recibir el personal puede ser realmente elevado alcanzando los umbrales para efectos determinísticos.

En estudios anteriores y en el presente se mostró que el cristalino resulta ser uno de los órganos más radiosensibles, incluso a bajas dosis de radiación, en comparación con otras prácticas no médicas.

En el presente trabajo se ha demostrado que el porcentaje de profesionales con opacidades subcapsulares posteriores se correlaciona con la edad, años de trabajo, cantidad de procedimientos y la discontinuidad o falta de uso de los elementos de protección necesarios.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda:

- Implementar y/o reforzar los programas de capacitación del personal: cardioangiólogos intervencionistas, técnicos y enfermeros, resaltando la necesidad del uso de los elementos de protección y las recomendaciones necesarias para optimizar las dosis de radiación, así como concientizar de los riesgos que implica el trabajo con radiaciones ionizantes, como lo recomienda la ICRP [17] y la European Commission [18].
- Implementar en todos los servicios los elementos de protección plomados (en particular de gafas y pantallas plomadas para protección del cristalino).
- Implementar el uso de dosimetría personal en los profesionales que aún no cuentan con evaluación individual y el uso de doble dosímetro.
- Mantener un registro completo del historial dosimétrico y de las condiciones de trabajo (carga de trabajo, etc.).

A futuro, se espera realizar la estimación de la dosis recibida por los profesionales, de acuerdo a los datos brindados en los formularios que completaron al enrolarse y a los resultados de trabajos anteriores [14].

6. Agradecimientos

Los autores del presente trabajo agradecen a la Sociedad Latinoamericana de Cardiología Intervencionista (SOLACI) y al Colegio Argentino de Cardioangiólogos Intervencionistas (CACI) por permitir realizar este estudio y a todos los que colaboraron para llevarlo a cabo.

7. Referencias

- ICRP, 2013. *Radiological Protection in Cardiology*. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42 (1).
- “Cardiología Intervencionista: ¿Cuáles son las dosis típicas de las intervenciones diagnósticas y terapéuticas?”, <http://rpop.iaea.org> (2013).
- “Cardiología. Material de entrenamiento, 07. Exposición ocupacional y dispositivos de protección”, <http://rpop.iaea.org> (2013).
- Urboniene, A., Grienciene, B. “Doses to eyes and extremities of medical staff during interventional radiology procedures. Presentación realizada en la reunión ORAMED, Barcelona (2011).
- Resolución N° 2680/68. Normas relativas a la instalación y funcionamiento de equipos generadores de rayos X. Ministerio de Salud, República Argentina (2000).
- Zett-Lobos et al. ¿Es suficiente la protección otorgada por gafas plomadas en cardiología intervencionista? *Rev Med Chile*; 141: 53-59 (2013).
- NCRP. Use of personal monitors to estimate effective dose equivalent and effective dose to workers for external exposure to low-LET radiation. NCRP Report N° 122 (1996).
- Chodick, G. et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am J Epidemiol*; 168 (6): 620-631 (2008).
- Ainsbury EA, et al. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat. Res.*; 172: 1-9 (2009).
- Worgul, BV, et al. Cortical cataract development-an expression of primart damage to the lens epithelium. *Lens Eye Toxic Res.*; 6: 559-571 (1989).
- ICRP, 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30 (2).
- ICRP, 2012. Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).
- IAEA. Cataract study – List of Eye testing exercises conducted. <http://rpop.iaea.org>
- Vaño et al. Radiation – associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments. *J Vasc Interv Radiol*; 24: 197-204 (2013).
- Merriam, GR; Focht, EF. A clinical and experimental study of the effect of single and divided doses of radiation on cataract production. *Trans Am Ophthalmol Soc*; 60:35-52 (1962).
- Vaño et al. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res*; 174: 490-495 (2010).
- ICRP, 2009. Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and Interventional Procedures. ICRP Publication 113, Ann. ICRP 39 (5).
- European Commission. Radiation Protection N° 116. Guidelines on Education and Training in Radiation Protection for Medical Exposures.

Trabajo presentado en el X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica “Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución”. Buenos Aires, 12 al 17 de abril, 2015.

¹ NCRP: National Council on Radiation Protection & Measurements

² ICRP: International comisión on Radiological Protection

³ RELID: Retrospective Evaluation of Lens Injuries and Dose

CNEA en la extensión de la vida útil de la Central Nuclear Embalse

Los estudios de envejecimiento de componentes y de factibilidad para la extensión de vida de la Central Nuclear Embalse, que comenzaron en 2007, determinaron la necesidad de reemplazar muchos de sus componentes. Entre ellos, los tubos de presión, pieza fundamental de los reactores de tecnología CANDU.

Haber finalizado la fabricación de estos tubos el pasado 17 de diciembre constituye un logro tecnológico para la CNEA y para el país. Técnicos de la CNEA llevaron adelante el desarrollo e implementación de la tecnología de fabricación de este componente nuclear, proceso en el que Argentina es uno de los pocos países del mundo que puede hacerlo fuera de Canadá, país diseñador y proveedor de esta tecnología. Los componentes fabricados y procesados en la Argentina cumplen con los requisitos más exigentes de calidad nuclear.

La CNEA, al desarrollar la tecnología, genera un avance significativo en la metalurgia argentina, sustituye importaciones y se instala como proveedor alternativo de estos materiales a nivel mundial.

Científicos de la CNEA construyen un acelerador de partículas para combatir el cáncer

Científicos de la CNEA están montando un acelerador de partículas que puede tratar tumores difusos e infiltrantes minimizando efectos adversos. Esta nueva tecnología puede instalarse en hospitales y reducir costos frente a terapias con reactores nucleares. Hoy, en todo el mundo, sólo existe un acelerador de partículas funcionando para este tratamiento en Japón. Además de Argentina, el Reino Unido, Japón, Israel, Italia y Rusia se encuentran generando prototipos.

La particularidad de esta terapia es que puede ser utilizada en tumores muy agresivos, como melanomas y otros tumores infiltrantes, minimizando los efectos adversos a los tejidos sanos. Por medio de esta poderosa herramienta terapéutica pueden eliminarse todas las células tumorales que afectan a un tejido. El prototipo fabricado por el equipo de investigación de la CNEA está siendo probado con resultados satisfactorios.

Acuerdo para la creación de un Centro de Medicina Nuclear

El 24 de abril, la CNEA y el Hospital El Cruce de Berazategui, provincia de Buenos Aires, firmaron un acuerdo marco de colaboración para la construcción de un Centro de Medicina Nuclear. Ese municipio ofreció cuatro terrenos cercanos a ese hospital para que se construya el año próximo el nuevo Centro de Medicina Nuclear, que se especializará en el diagnóstico y tratamiento de distintos tipos de cáncer.

La CNEA presente en La Brújula 2015

Entre el 14 de Abril y el 10 de mayo, la CNEA participó en la edición 2015 de La Brújula, la feria de ciencia y tecnología más grande del interior del país. Está ubicada en el espacio cultural Julio Le Parc de Guaymallén, provincia de Mendoza.

La UNSAM y la CNEA desarrollan herramienta clave para la defensa y la comunicación satelital

El sistema científico y tecnológico argentino está cerca de contar con un diseño propio de transistor para antenas de satélites y radares. El proyecto es llevado a cabo en conjunto entre la Universidad Nacional de San Martín y la CNEA. Investigadores de ambas instituciones están desarrollando el primer transistor de radiofrecuencia argentino, un componente estratégico para el Plan Espacial y las telecomunicaciones.

La idea del desarrollo surgió de la necesidad de contar con transistores y amplificadores de alta frecuencia y potencia para aplicaciones en sistemas de comunicaciones tanto terrestres como satelitales de fabricación nacional, dado que para algunas aplicaciones existen restricciones en la venta por parte de los pocos países productores. Las pruebas iniciales del prototipo han tenido resultados alentadores.

Los investigadores que lograron este desarrollo integran el nodo NANOTEC, creado en el año 2008 para el diseño, fabricación y caracterización de micro y nanodispositivos para aplicaciones en la salud, la seguridad y el área espacial.

Su desarrollo está basado en el reciente descubrimiento de un nuevo sistema de materiales en base al nitruro de galio y aluminio que permite llegar a frecuencias más altas, por lo que dos transistores logran lo que cien de los anteriores.

Reseñas bibliográficas

JORGE A. SABATO. Estado, política y gestión de la tecnología: obras escogidas (1962-1983) compilado por Santiago Harriague y Domingo Quilici. 1a ed.

Tecnología, Política
San Martín, UNSAM EDITA, Colección Ciencia y Tecnología.
2014, ISBN: 978-1435-74-6
Rústica, 23 x 15 cm. 246 pp.

Tres décadas después de su fallecimiento, con el abandono del paradigma neoliberal luego de la crisis de 2001 y la recuperación de un proyecto de país industrial, el pensamiento de Jorge A. Sabato (1924-1983) no sólo conserva vigencia, sino que se perfila como un elemento clave para superar la dependencia tecnológica de los países industrializados y, en palabras suyas, “ayudar a la construcción de una sociedad plural, libre y democrática”.

Posicionado a favor de la industrialización sustitutiva, Sabato fomentó políticas públicas en pos de un desarrollo tecnológico autónomo. En calidad de tecnólogo, concibió la metalurgia como un vehículo de transformación de la industria local; más tarde, a comienzos de los años setenta, siendo el promotor más visible y consistente de una estrategia de desarrollo del sector nuclear, ubicó a la Argentina en un lugar de liderazgo regional y, finalmente, como referente internacional, promovió políticas tecnológicas para países en desarrollo.

La publicación de esta selección de artículos de Jorge A. Sabato fue posible por el minucioso y arduo trabajo de rastreo, recuperación y ordenamiento realizado por Carlos Martínez Vidal, actor destacado en el desarrollo nuclear argentino y convencido promotor del valor y vigencia de los escritos de Sabato que incluyen 6 libros y alrededor de 250 artículos.

La selección cronológica de artículos que lo integran fue realizada con un doble criterio, por un lado, frente a la identificación monocorde de Sabato con su “triángulo”, se muestra la amplitud de temas abordados y la riqueza de ideas; por otro lado, la selección da cuenta de la evolución cronológica del pensamiento a través de escritos que van desde 1962 hasta 1983. Desde fines de 1954, momento en que Sabato ingresó a la CNEA, hasta el fin de sus días en noviembre de 1983, se puede ver crecer su obra en profundidad y originalidad.

Los compiladores han sido funcionarios de la CNEA y amigos personales del Jorge A. Sabato.

Publicación recomendada para conocer aspectos de la política tecnológica llevada a cabo por la actividad nuclear argentina clave en la historia de nuestro país.



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 situada 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 Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1300 - Fax: (54 – 11) 6326-1490 - www.conuar.com.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 (B1429BNP) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Teléfono: (54 – 11) 4704 - 1035/1236 - Fax: (54 – 11) 4704 - 1043 - www.dioxitek.com.ar

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 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, Neuquén Casilla de Correo 636 (8300) Neuquén Arroyito - Pcia. del Neuquén - Teléfono: (54 – 299) 440706/440411/440572 - Fax: (54 – 299) 440534 – E-mail: piap@ensi.com.ar - www.ensi.com.ar

FÁBRICA 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 Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1493 - Fax: (54 – 11) 6326-1496 - www.fae.com.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 San Carlos de Bariloche. Su objetivo estatutario original es 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 tipo, así como también de sistemas de aplicación médica y científica y al desarrollo y fabricación de satélites y radares. Su dirección es Avda. Cmte. Luis Piedrabuena 4950 - (R8403CPV) San Carlos de Bariloche – Pcia. de Río Negro – Teléfono: (54 – 2944) 4409 300 - Fax: (54 – 2944) 4409 336 - www.invap.com.ar

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A (NA-SA)

La NA-SA fue creada por Decreto N° 1.540/94. Es una sociedad Anónima cuyo capital accionario corresponde el 79% a la Secretaría de Energía de la Nación, el 20% a la CNEA y el 1% al Ente Binacional de Emprendimientos Energéticos S.A. Tiene a su cargo la operación y comercialización de la energía eléctrica generada por las Centrales Nucleares Atucha I- Unidades I y II y Embalse, así como por las futuras unidades de generación nucleoelectrica. Su dirección es Arribeños 3619 – (C1429BKQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires- Teléfono: (54-11) 4701 – 7070 - Fax: +54 11 4701 8621- E-mail: ri@na-sa.com.ar - www.na-sa.com.ar

POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES S.A. (PTC)

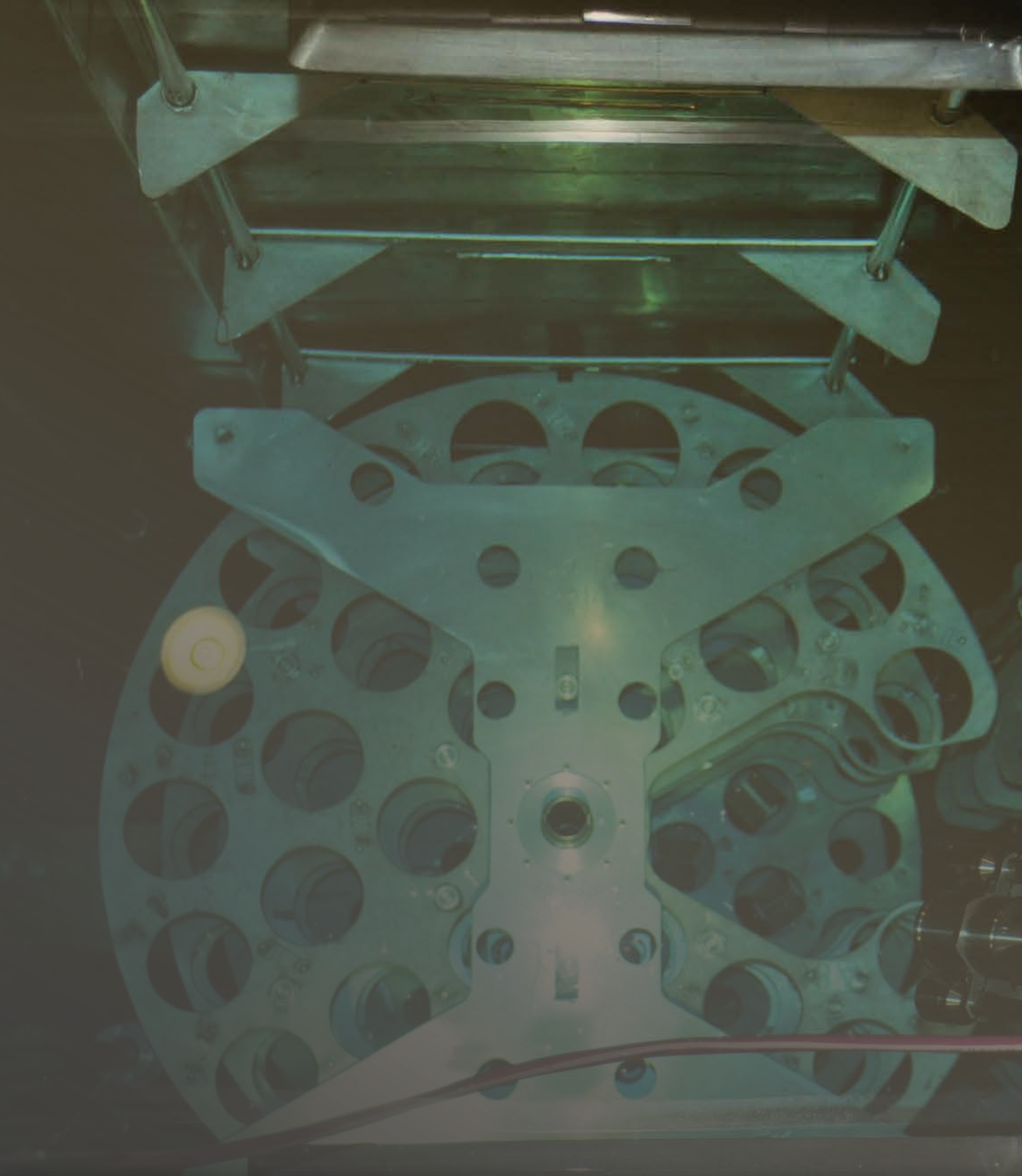
El PTC fue creado por Decreto N° 894/98 y está constituido por la asociación de instituciones de desarrollo tecnológico con capacidades distintas y complementarias. La CNEA es poseedora del 20% del capital accionario. El PTC tiene por objeto prestar servicios en las áreas de la investigación y el desarrollo tecnológico cuando ellos requieran complementar las 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 - Teléfono / fax: (54 – 11) 754 – 4070 – www.cnea.edu.ar/polo

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 – Teléfono / fax: (54 – 11) 4566-7597 - E-mail: info@fcdn.org.ar – www.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 – Pcia. de Mendoza - Teléfono: (54 – 261) 4201615 - Fax: (54 – 261) 4203288 - E-mail: info@fuesmen.edu.ar www.fuesmen.edu.ar



Comisión Nacional
de Energía Atómica