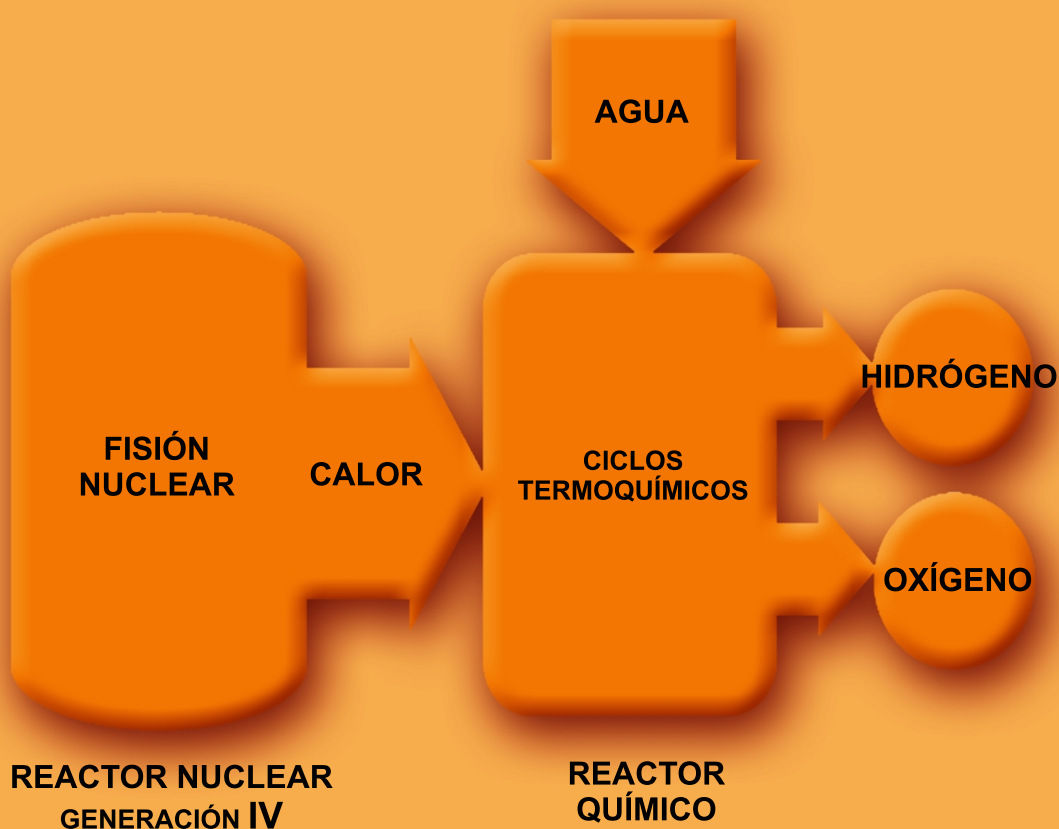


LA REVISTA DE LA
**COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**



AÑO XI – NÚMERO 41/42 – ENERO / JUNIO 2011



PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE ENERGÍA NUCLEAR

ISSN 1666-1036

Guía para autores de artículos

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

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

Formato: Serán preparados 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 3 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".

LA REVISTA DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA



AÑO XI – NÚMERO 41/42 – ENERO/JUNIO 2011

editorial

El Comité Editorial se complace en presentar el número 41/42 de la Revista de la CNEA con el que inicia su undécimo año de existencia.

Se han incluido en el presente número cinco artículos referidos a temas de índole muy variada que ponen de relieve el carácter multifacético y la complejidad de las actividades de la CNEA.

El uso del hidrógeno como vector energético para su posible aplicación en el escenario mundial debe aún superar una serie de barreras tecnológicas, económicas y logísticas. Entre estas últimas, la producción del recurso resulta clave. Si bien los métodos de reformado y electrólisis son bien conocidos y poseen un grado de madurez tecnológica que los ha llevado a ser utilizados en la producción de hidrógeno con fines petroquímicos e industriales, no resultan adecuados para una economía en base a hidrógeno. Como consecuencia, en el escenario internacional se está estudiando la opción nuclear, esto es el uso de reactores nucleares como una alternativa promisorio para producir grandes cantidades de hidrógeno a costos competitivos y con mayor eficiencia tecnológica que los métodos clásicos. El primer artículo nos presenta un análisis crítico de las vías de producción de hidrógeno nuclear y nos muestra sus posibles beneficios.

El segundo de ellos constituye un justo y oportuno homenaje al Servicio de Asistencia a la Industria (SATI), al cumplirse este año 50 años de su creación, servicio prácticamente sin antecedentes en el país, e intenta rescatar los logros en materia de desarrollos innovativos, de formación técnica y de asistencia al sector productivo que demostraron su importancia tanto para dicho sector como para la Institución.

Los reactores semi-homogéneos son aquellos que poseen un compuesto de uranio en forma de partículas suspendidas y distribuidas homogéneamente en el líquido moderador. Varios desarrollos de éste tipo de reactores fueron presentados en el pasado y aún uno de ellos fue desarrollado, construido y exitosamente operado. Resulta de interés evaluar los diferentes aspectos ya desarrollados de estos reactores y qué detalles hace falta modificar y profundizar para la actualización de la tecnología para la producción de radioisótopos en los mismos. El tercer artículo nos informa sobre este interesante desarrollo tecnológico y sus posibilidades futuras.

La historia de la CNEA es aparentemente toda conocida, sin embargo, existieron actividades institucionales no tan vívidas en la memoria colectiva. Así el cuarto artículo rescata cuatro de ellas que, con justicia, califica como “perlas históricas”, entendiendo que sus peculiaridades también conforman y expresan la identidad institucional.

Al encararse la elaboración del Plan Estratégico 2010-2019 de la CNEA se planteó la necesidad de incluir un capítulo dedicado al capital intelectual con el objeto de realizar un balance de los recursos intelectuales existentes y necesarios, y analizar si se cuenta con los recursos requeridos o si faltan y en qué temas. El quinto artículo nos presenta un interesante resumen de los resultados globales de ese balance y conclusiones que nos permiten evaluar la situación actual de la Institución en términos de capital intelectual.

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

Deseamos resaltar la cantidad de artículos que se publican actualmente en la Revista producidos por las nuevas generaciones de profesionales ingresados en los últimos años a la CNEA, a los que alentamos a continuar haciéndolo en el futuro en forma creciente.

Además – y como siempre – reiteramos la invitación a todos 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

Presidenta de la Nación
Doctora Cristina E. Fernández de Kirchner

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

Secretario de Energía
Ingeniero Daniel Omar Cameron

autoridades institucionales

Presidenta
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 Licenciada Stella Spurio
Impresión VCR. Impresores S.A.
SIN: 1666-1036

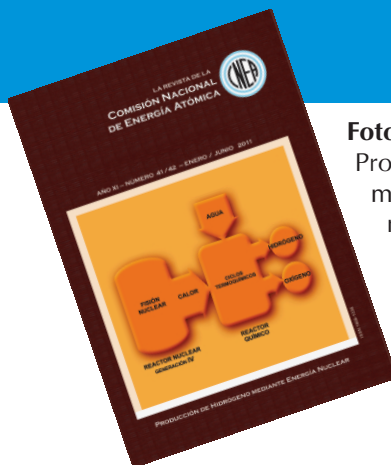


Foto de tapa
Producción de hidrógeno
mediante energía
nuclear

sumario

Editorial	3
Estudio de los ciclos termoquímicos para la producción de hidrógeno nuclear	5
A 50 años del Servicio de Asistencia Técnica a la Industria (SATI): apuntes de una heterodoxia	14
Reactores semi-homogéneos para la producción de radioisótopos	22
Perlas históricas de la Comisión Nacional de Energía Atómica	26
Relevamiento de capital intelectual de la Institución	33
CNEA al día, noticias institucionales	36
Reseñas bibliográficas	42

Nota de los números: 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.

Estudio de los ciclos termoquímicos para la producción de hidrógeno nuclear

C. H. APORTA, P. E. MARTÍNEZ, D. M. PASQUEVICH - Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable - Comisión Nacional de Energía Atómica

El uso del hidrógeno como vector energético para su posible aplicación en el escenario mundial debe aún superar una serie de barreras tecnológicas, económicas y logísticas. Entre estas últimas, la producción del recurso es clave. Si bien los métodos de reformado y electrólisis son bien conocidos y poseen un grado de madurez tecnológica que los ha llevado a ser utilizados en la producción de hidrógeno con fines petroquímicos e industriales, no serían adecuados para una economía en base a hidrógeno.

Las razones son simples: para el caso del reformado el uso de gas natural no traería aparejado ningún beneficio ambiental, y para el caso del uso de la energía eléctrica para la electrólisis sólo tendría sentido para "energías a pérdidas", un concepto asociado a aumentar la eficiencia energética pero de poco impacto en la economía mundial por su baja escala de producción. Como consecuencia, en el escenario internacional se está estudiando la opción nuclear. Esto es el uso de reactores nucleares como una alternativa promisorio para producir grandes cantidades de hidrógeno a costos competitivos y con una mayor eficiencia tecnológica que los métodos clásicos. El Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable desarrolla el estudio de una de estas alternativas basada en el ciclo cloro-cobre en colaboración con la Universidad de Ontario, Canadá, y otras instituciones extranjeras. El objetivo de este trabajo es presentar un análisis crítico de las vías de producción de hidrógeno nuclear y mostrar sus posibles beneficios.

The hydrogen utilization as energy vector in a future world scenario application has still to overcome technology, economic and logistic barriers. Among the last, the resource generation is a key issue. Although the reforming and electrolysis methods are well known and experience a technology maturity that causes its utilization at petrochemical industry, they will not be enough for a hydrogen based economy. Reasons are simple: natural gas usage for reforming processes will not generate any environmental benefit and for the electricity consumption for electrolysis process only will be attractive for marginal electricity. Marginal electricity is a new concept associated with the energy efficiency improvement but still with low impact over world economy due to its small production scale. As a consequence of the previous fact, the nuclear hydrogen production is under study worldwide. It is to use nuclear reactors as a promising choice to produce a big quantity of hydrogen with more competitive costs and with more improved efficiency than the classical methods. The objective of the present work is to present a critical survey of the nuclear hydrogen production and highlight its benefits.

1. Introducción

En un futuro cada vez menos lejano, las reservas de petróleo habrán disminuido de tal manera que será necesario encontrar un sustituto para esta fuente primaria de energía que sea eficiente tanto económica como ambientalmente. Hace unos años se viene hablando de que ese sustituto bien podría ser el hidrógeno. Si bien el compuesto más abundante en la naturaleza y el espacio exterior no es una fuente primaria de energía en sí, ya que no se encuentra libre en estado natural, al menos en nuestro planeta. No obstante el H_2 se puede comportar como un excelente transportador de energía. En la tierra el H_2 forma parte de casi todo, todos los hidrocarburos y compuestos orgánicos lo contienen pero también está presente en componentes inorgánicos como ácidos, bases y principalmente en el agua. Al no estar libre en la naturaleza, la obtención de este compuesto requiere invertir energía. Existen, desde hace bastante tiempo, procesos de producción de H_2 a partir de hidrocarburos comúnmente conocidos como procesos de "reformado". En estos procesos se libera el H_2 contenido en los hidrocarburos mediante una reacción con vapor de agua o dióxido de carbono a temperaturas moderadas (entre 400 y 600 °C). Existe otra serie de procesos que tienen como materia prima hidrocarburos y en los cuales se oxidan los

mismos para liberar parte del H_2 contenido en ellos, una muy buena reseña de procesos de obtención de H_2 a partir de hidrocarburos puede encontrarse en [1]. Sin embargo estos procesos no pueden soslayar el hecho de que intrínsecamente generan CO_2 trasladando el problema ambiental, en cierta medida, aguas arriba en la cadena de suministros del combustible [2]. Por otro lado, durante varios años este H_2 producido por reformado de hidrocarburos competirá con la utilización de los mismos para sus usos tradicionales en transporte y petroquímica.

Sin embargo existe otra opción de obtención de H_2 donde se utiliza agua como fuente primaria principal. En este caso la tarea consiste en separar la molécula de agua en sus elementos constitutivos hidrógeno y oxígeno. Para llevar a cabo esta reacción se requiere obviamente energía y las opciones de procesos son variadas. En primer lugar la ruptura de la molécula de agua puede realizarse simplemente utilizando alta temperatura para romper el enlace puente hidrógeno de la molécula de agua. Este proceso se conoce como termólisis del agua y se lleva a cabo a una temperatura de 4.300°C [3] que es la temperatura a la cual se rompe en forma espontánea el enlace hidrógeno-oxígeno. Otra opción es utilizar electricidad para romper la molécula de agua, este proceso es comúnmente conocido como electrólisis. La utilización de electricidad para romper la molécula de agua permite

llevar a cabo la reacción a temperaturas más moderadas que la termólisis e incluso existe una serie de procesos en los cuales se combinan la electricidad y la temperatura para la ruptura de la molécula de agua, estos procesos están explicados en la sección 3 del presente artículo.

Existe otra forma de obtención de H_2 que no utiliza, al menos en forma exclusiva, calor ni electricidad. Estos procesos obtienen el hidrógeno a partir de un ciclo de reacciones químicas en las cuales interviene algún elemento inorgánico como catalizador de la reacción. Estos procesos se conocen como ciclos termoquímicos. Si bien la carga calórica es importante en este tipo de procesos no es tan intensiva como la termólisis por calor. La menor utilización de calor se basa en una serie de reacciones entre un elemento inorgánico (que puede ser metálico o no metálico) y el agua, pasando por compuestos intermedios como ácidos, que son los que liberan el hidrógeno en reacciones de regeneración de estos elementos inorgánicos. Si bien la necesidad de calor de estos procesos es menor que la termólisis, el consumo de calor es aún elevado, necesitándose temperaturas entre 500 y 800 °C para su realización. Este rango de temperaturas puede ser cubierto por fuentes de energía tales como la energía solar o la energía nuclear de última generación. El presente artículo presenta los lineamientos básicos de los ciclos termoquímicos de generación de H_2 como base para el entendimiento del proceso de acoplamiento con una fuente de calor de origen nuclear tales como los reactores nucleares de centrales de potencia.

2. Hidrógeno nuclear

El aprovechamiento de la energía nuclear en la producción de hidrógeno sólo se justifica para procesos que requieren alta temperatura. Los procesos más estudiados para la producción de hidrógeno nuclear son:

- Electrólisis de alta temperatura.
- Ciclos termoquímicos.

Los dos procesos aprovechan el calor generado por los reactores para producir hidrógeno. Una de las ventajas de utilizar energía nuclear para este fin es que durante la generación de energía no se emiten gases de efecto invernadero. Además, se pueden producir hidrógeno y electricidad en forma simultánea, lo que permite desplazar la producción hacia el producto deseado dependiendo de las necesidades del mercado.

El Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) tiene un programa llamado *Nuclear Hydrogen Initiative* (NHI), cuyo objetivo es demostrar la producción a escala comercial de hidrógeno utilizando energía nuclear, para el año 2017.

En España entre los años 2004 y 2007, la empresa de ingeniería Empresarios Agrupados desarrolló el proyecto HYTHEC (*Hydrogen Thermochemical Cycles*) cuyo objetivo fue evaluar los procesos termoquímicos considerados más adecuados para la producción de hidrógeno según dos variables cuantitativas fundamentales: costo de producción y eficiencia térmica.

Los ciclos seleccionados por su mayor eficiencia y menor costo fueron el ciclo yodo-azufre (I-S) y el ciclo híbrido de azufre (S-H), los cuales se analizaron y optimizaron paralelamente. El estudio se realizó sobre el acoplamiento de los ciclos a un reactor VHTR (*Very High Temperature Reactor* por sus siglas en inglés) y los resultados obtenidos fueron 110 toneladas de hidrógeno por día para el ciclo I-S y 98 toneladas de hidrógeno por día para el S-H, con un costo estimado de entre 3 y 5 euro/kg de H_2 producido [4].

Como una continuación del proyecto HYTHEC, surgió el proyecto HyCycles (*Materials and components for Hydrogen production by sulfur based thermochemical Cycles*) que tiene como objetivo la elaboración de materiales y componentes para los ciclos termoquímicos a base de azufre.

El uso eficiente de energía es un factor importante para cualquier plan enfocado en satisfacer la demanda creciente. Por lo tanto, es necesario evaluar las tecnologías de producción de hidrógeno nuclear en términos de su eficiencia energética en la fase de generación. La eficiencia global para el uso de la energía nuclear en la producción de hidrógeno depende de la temperatura de operación, la eficiencia de conversión del proceso y la complejidad del sistema. La elección general dependerá del costo del proceso, lo que se traduce en costo de los equipos [5].

En las secciones siguientes se detallan los procesos de generación de H_2 acoplados a reactores nucleares, en primer lugar se detallan los procesos de electrólisis de agua y en segundo lugar los procesos termoquímicos.

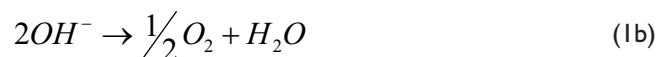
3. Electrólisis de alta temperatura

La electrólisis es un proceso que utiliza electricidad para separar un compuesto en los elementos que lo conforman. En el caso de producción de hidrógeno, se utiliza la electrólisis del agua.

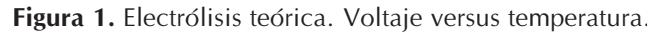


La descomposición del agua no se produce de forma espontánea ($\Delta G > 0$), por lo tanto para producir la ruptura de la molécula es necesario aplicar energía (energía eléctrica en el caso de la electrólisis).

El proceso de electrólisis se lleva a cabo en reactores, llamados celdas electrolíticas, en los cuales la reacción (1) se lleva a cabo en dos semi reacciones.



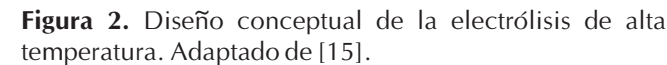
En la Figura 1 se muestra un gráfico de voltaje versus temperatura.


$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

La Figura 1 demuestra que la demanda eléctrica disminuye con el aumento de la temperatura a la que tiene lugar el proceso. Por lo tanto, la electrólisis de alta temperatura utiliza una cantidad de energía eléctrica menor que la electrólisis en condiciones normales de temperatura.

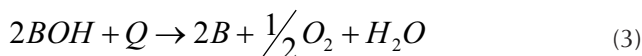
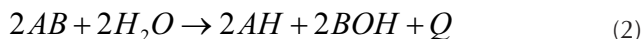
4. Ciclos termoquímicos



Esta sección se elaboró tomando como base el “Apéndice A” de [6]. La termólisis directa del agua implica trabajar con temperaturas muy elevadas aproximadamente 4.000°C, y no es aplicable en condiciones normales de presión. Para evitar trabajar con esas temperaturas, se utilizan los llamados “ciclos termoquímicos”, con los cuales se puede producir la ruptura de la molécula de agua a temperaturas menores.

Los procesos de separación del agua pueden ser

subdivididos en diferentes reacciones parciales. El principio está dado por el siguiente ciclo:

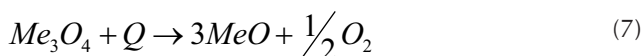
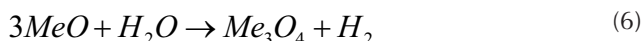


Donde Q representa la carga de calor.

Dependiendo de las especies que participan (A y B), los ciclos pueden clasificarse en distintas familias, detalladas a continuación.

4.1 Familia de los Óxidos

Es el proceso de separación de agua más simple, el ciclo consiste en dos pasos con óxidos metálicos (MeO) en una reacción del tipo redox.



Donde Me = Mn, Fe o Co

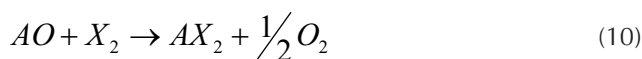
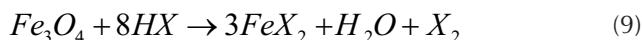
4.2 Familia de los haluros

La reacción general para esta familia es:



Donde Me = Mn o Fe y X = Cl, Br o I

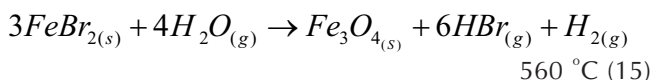
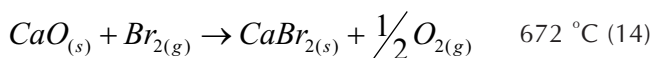
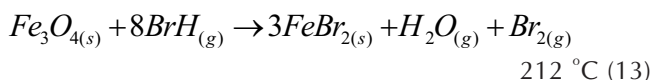
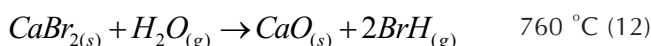
Para el ciclo que utiliza manganeso, la cantidad de hidrógeno producido es muy pequeña. Para la producción de oxígeno se han propuesto tres reacciones. En una de ellas, la reacción de oxidación se lleva a cabo en dos pasos, con la adición de una fase de óxido que reacciona para regenerar el haluro correspondiente.



Donde A = Mn o Ca y X = Cl o Br

4.2.1 Ciclo hierro-bromo-calcio

Este ciclo llamado UT-3 (*University of Tokio 3*) es la combinación de A = Ca y X = Br



En las reacciones (12) y (13) se producen los reactivos para las reacciones (14) y (15). Todas las reacciones son sólido-gas y el proceso se lleva a cabo en cuatro reactores tubulares conectados en serie.

El ciclo UT-3 básico fue descrito por primera vez a finales de la década del setenta en la Universidad de Tokio por Kameyama H. y Yoshida K. [9] y, la mayor parte de los trabajos sobre éste ciclo, han sido realizados en Japón. En 1996, se publicó el ciclo UT-3 adiabático [10], cuyo diagrama simplificado se muestra en la Figura 3.

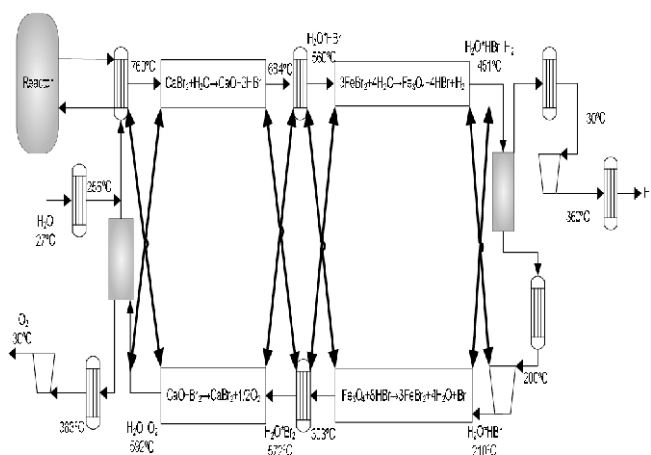


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso UT-3 adiabático. Adaptado de [16].

El proceso consta de cuatro reactores tubulares conectados en serie, dos separadores de membrana y tres intercambiadores de calor.

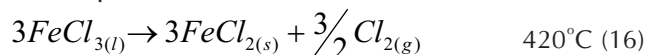
El reactor nuclear transfiere calor a una corriente de vapor en un intercambiador de calor secundario. La corriente de vapor que ha sido calentada circula a través de todo el circuito. Los reactores químicos están dispuestos de a pares, un par contiene los compuestos del calcio y el otro los compuestos del hierro. Los reactivos sólidos están en forma de pellets esféricos y formando un lecho empacado. Este lecho es atravesado por la corriente de reactivos gaseosos produciéndose así la reacción química.

La producción de hidrógeno involucra a las reacciones (12) y (15), mientras que la producción de oxígeno involucra las reacciones (13) y (14). Tanto el hidrógeno como el oxígeno se obtienen en los separadores de membrana.

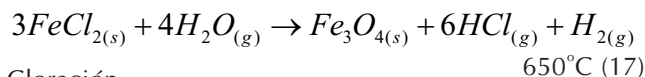
4.2.2 Ciclo hierro-cloro

Este ciclo consta de tres pasos:

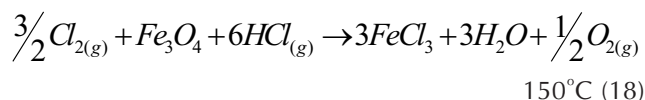
Descomposición:



Hidrólisis:



Cloración

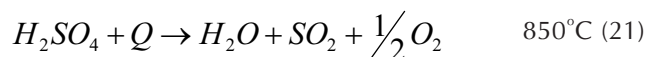
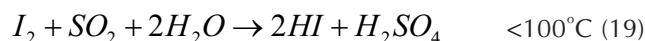


La eficiencia teórica de este ciclo es de 44%, pero en la práctica la eficiencia no supera el 30% debido a problemas de los materiales, el acoplamiento con las fuentes de calor y la separación de las fases gaseosas [6]. El número pequeño de reacciones, la abundancia de los elementos involucrados (Fe y Cl) y una temperatura máxima entre 100-200°C más baja que en otros ciclos, son las características más atractivas de este proceso.

4.3. Familia del azufre

Dentro de esta familia se han estudiado cuatro ciclos, el de cuatro pasos, el de yodo-azufre, el del sulfato y el de ácido sulfúrico-metanol, pero los más desarrollados son el de yodo-azufre y el del sulfato.

4.3.1. Ciclo iodo-azufre



La reacción (19) es exotérmica, y se conoce como "Reacción de Bunsen". Bajo condiciones óptimas de operación, la eficiencia de este ciclo es 40-50%. Este sistema puede acoplarse a un reactor de alta temperatura o a una planta solar térmica. En la Figura 4, se presenta un esquema de este ciclo acoplado a un reactor nuclear de Generación IV que utiliza helio como refrigerante. El helio sale del reactor a una temperatura de 950°C aproximadamente y atraviesa un intercambiador de calor intermedio, en el cual le cede calor al helio del circuito secundario. Luego el helio del primario es comprimido y regresa al reactor. Una vez calentada, la corriente de helio del circuito secundario se divide en dos partes. Una corriente va hacia el circuito de potencia y la otra se dirige hacia el proceso de producción de hidrógeno. La corriente de helio que sale del ciclo I-S, posee una temperatura aproximada de 420°C y la que sale del circuito de potencia esta a 350°C aproximadamente, por lo tanto la corriente que sale del ciclo I-S debe ser enfriada antes de mezclarlas.

La corriente que sale del mezclador regresa al intercambiador intermedio, dando comienzo nuevamente al ciclo.

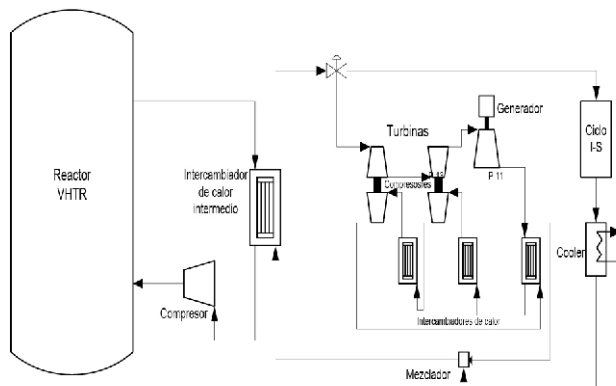
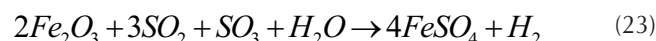
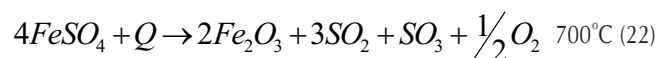


Figura 4. Esquema del ciclo I-S acoplado a un reactor VHTR. Adaptado de [4].

4.3.2. Ciclo del sulfato



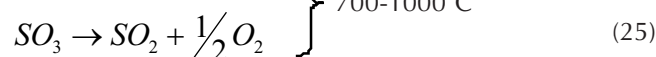
El paso de baja temperatura puede producir ácido sulfhídrico y sulfuro ferroso en lugar de hidrógeno. Esto llevó a la idea de reemplazar el paso de baja temperatura por una fase electroquímica, lo que da lugar a los ciclos termoquímicos híbridos [6]. La principal desventaja de los ciclos de la familia del azufre es la corrosión que produce la descomposición del ácido sobre el material de los reactores químicos.

4.4 Ciclos termoquímicos híbridos

En estos se combinan ciclos termoquímicos con reacciones electrolíticas, realizando un paso extra, de baja temperatura, en forma electrolítica.

Varios ciclos termoquímicos híbridos son posibles desde el punto de vista energético, pero no todos son factibles. Los criterios más importantes para su factibilidad son el voltaje necesario para el paso electrolítico y la eficiencia.

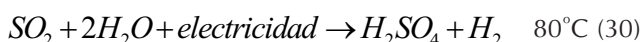
4.4.1 Ciclo ácido sulfúrico-bromo



Donde la reacción (27) es el paso electrolítico.

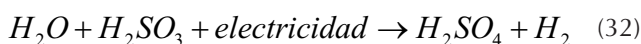
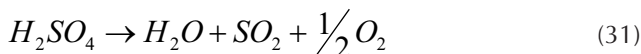
Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA 1999) [6], este ciclo fue operado satisfactoriamente en 1978, utilizando solamente especies gaseosas o líquidas en una planta a escala laboratorio con una producción de hidrógeno de 100L/h durante 150h.

4.4.2 Proceso híbrido de ácido sulfúrico



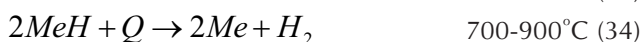
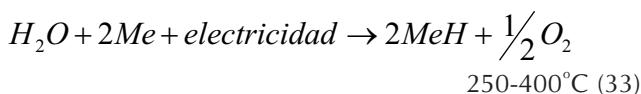
La eficiencia óptima se logra con ácido sulfúrico al 65%. La eficiencia del ciclo es del 40%, pero puede llevarse a 46% si se realiza la electrolisis en varias etapas.

También se puede utilizar ácido sulfónico:



Nuevamente, la desventaja es la corrosión que produce la descomposición del ácido. Se estima que los ciclos híbridos de dos pasos reducen las corrientes de materiales en comparación con lo descrito para el ciclo iodo-azufre.

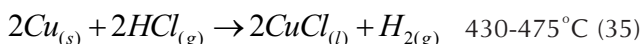
4.4.3 Ciclo metal-metal hidruro



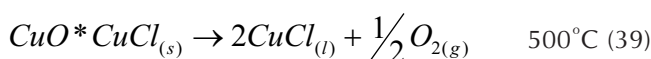
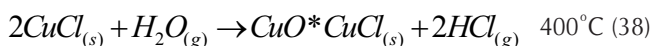
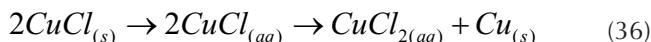
Donde Me= Li, K, Na o mezclas.

En el RWTH (*Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule* por sus siglas en alemán) Aachen de Alemania se realizaron además pruebas con litio. Por otro lado, las aleaciones Ti-Ni demostraron ser resistentes durante 500 horas bajo condiciones de electrolisis [6]. Este ciclo ofrece una posibilidad interesante para la producción de hidrógeno con un reactor de alta temperatura refrigerado a gas (*gas-cooled reactor*).

4.4.4 Ciclo cobre-cloro



Electrólisis a 25-80°C:



La reacción (35) es el paso de producción de hidrógeno en el cual el cobre sólido, en forma de partículas, reacciona con ácido clorhídrico gaseoso para producir hidrógeno.

Dos variantes de este proceso están bajo estudio, una de 5 pasos y otra de 4 pasos. En el primero, el cloruro cúprico acuoso es secado y llevado a forma de partículas sólidas que luego reaccionan con agua para formar oxiclорuro de cobre. En la segunda variante, la de 4 pasos, el cloruro cúprico ingresa a la cámara de hidrólisis en estado acuoso para producir oxiclорuro de cobre.

El proceso de cuatro pasos tiene menor complejidad debido a que no maneja sólidos, reduciendo así la cantidad de equipamiento, pero el proceso de 5 pasos es más eficiente desde el punto de vista energético. Este ciclo fue identificado por *Atomic Energy of Canada Limited*, AECL [11], como el más prometedor para la producción de hidrógeno con un reactor nuclear de Generación IV, utilizando agua en estado supercrítico como refrigerante [12].

5. Reactores de Generación IV

En el año 2000 la Oficina de Energía Nuclear del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) [13] convocó a un grupo de altos representantes gubernamentales de nueve países para iniciar conversaciones sobre la colaboración internacional en el desarrollo de los reactores de la Generación IV, formando el "*Generation IV International Forum*" (GIF). Estos países fueron: Argentina, Brasil, Canadá, Francia, Japón, Corea del Sur, Sudáfrica, Reino Unido y Estados Unidos. Posteriormente se unieron: Suiza (en 2002), la Unión Europea (en 2003), China y Rusia (ambos en 2006) [14].

El GIF sentó las bases para la identificación y selección de seis sistemas de energía nuclear para el desarrollo futuro. Sus diseños tienen espectros neutrónicos térmicos y rápidos (se refiere a la velocidad de los neutrones dentro del reactor. Si el espectro neutrónico es térmico los neutrones se mueven lentamente, y si el espectro neutrónico es rápido, los neutrones se mueven rápidamente), con la posibilidad de trabajar con ciclo de combustible cerrado o abierto, y una amplia gama de tamaños de reactor.

Dependiendo de sus respectivos grados de madurez técnica, se espera que los sistemas de generación IV estén disponibles para su introducción comercial en el período entre 2015 y 2030 o más allá.

Las características más importantes de los reactores de la

generación IV son:

- Seguridad mejorada a través de diseños más sencillos y la implementación de elementos de seguridad pasiva.
- Mejor utilización del combustible, lo que no sólo reduce los residuos generados sino que también reduce el riesgo de proliferación de armamento nuclear al dificultar la extracción de plutonio.
- Generación de calor a temperaturas superiores a 800°C.

Los seis diseños de reactores de la Generación IV son:

- Reactor refrigerado con gas (GFR por sus siglas en inglés).
- Reactor de muy alta temperatura (VHTR por sus siglas en inglés).
- Reactor rápido refrigerado con plomo (LFR por sus siglas en inglés)
- Reactor de sales fundidas (MSR por sus siglas en inglés).
- Reactor rápido refrigerado con sodio (SFR por sus siglas en inglés).
- Reactor refrigerado con agua en estado supercrítico (SCWR por sus siglas en inglés).

5.1. Reactor rápido refrigerado con gas (GFR)

El GFR es un reactor de alta temperatura que utiliza helio como refrigerante. Ofrece la posibilidad de trabajar con ciclo de combustible cerrado. Estos reactores poseen un espectro neutrónico rápido, lo que permite un mejor aprovechamiento del combustible minimizando la cantidad de residuos radiactivos. A su vez la elevada temperatura de salida del refrigerante permite no solo generar electricidad, sino también el uso de ese calor en procesos industriales, por ejemplo en la producción de hidrógeno.

El refrigerante (helio) ingresa en el núcleo del reactor por debajo, y sale caliente por la parte superior del núcleo. Una vez que abandona el reactor, el gas caliente acciona una turbina de gas, que a su vez acciona un generador de energía eléctrica y dos compresores, y cuando el gas sale de la turbina se enfría, se comprime y regresa al reactor.

El calor del gas a la salida de la turbina podría ser utilizado en procesos industriales que requieren calor, por ejemplo en la producción de hidrógeno por procesos termoquímicos. Otra ventaja del espectro neutrónico rápido es la posibilidad de trabajar con materiales fisibles y materiales fértiles.

Vale recordar que los materiales fisibles son aquellos que pueden sufrir reacciones de fisión con neutrones térmicos o rápidos. Disponen de un número impar de nucleones (protones y neutrones), por ejemplo U-233, U-235, Pu-239 y Pu-241. Los materiales fértiles reciben su nombre por que pueden producir núcleos fisibles por medio de reacciones de captura neutrónica (reacciones entre un núcleo y un neutrón, en las que no aparecen neutrones entre los productos de reacción, sólo

el núcleo compuesto y algún fotón de desexcitación en su caso); también pueden fisiónarse pero sólo con neutrones rápidos. Poseen número de nucleones par, por ejemplo U-238, Pu-240, Pu-242 y Th-232.

5.2 Reactor rápido refrigerado por plomo (LFR)

Al igual que el GFR, el LFR posee un espectro neutrónico rápido, pudiendo también trabajar con un ciclo de combustible cerrado, teniendo las mismas ventajas comentadas para el reactor GFR.

El LFR utiliza plomo o plomo-bismuto como refrigerante. Este refrigerante es relativamente inerte, lo que le otorga mayor seguridad al sistema, siempre y cuando los problemas de peso y la naturaleza corrosiva del plomo puedan ser superados. El circuito de refrigeración y el sistema de conversión de energía es igual al descrito para el GFR. Esta previsto principalmente para producción de electricidad e hidrógeno.

5.3. Reactor de sales fundidas (MSR)

En este sistema el combustible es un líquido (sales fundidas) compuesto por fluoruros de uranio o plutonio disueltos en una mezcla de sales fundidas de sodio o zirconio que fluye a través de los canales del núcleo. El calor generado en la sal fundida se transfiere a través de un intercambiador de calor intermedio a un refrigerante secundario (sales fundidas), que luego, por medio de otro intercambiador de calor, le transfiere el calor a un refrigerante terciario (helio), el cual es el fluido de trabajo del sistema de conversión de energía. La temperatura de salida del refrigerante es de 700°C aproximadamente. Este sistema está previsto para producción de hidrógeno y electricidad.

Algunas de las ventajas de este tipo de reactor son:

- Alta conversión.
- Opera a altas temperaturas, lo que le da un uso potencial en la producción termoquímica de hidrógeno.

5.4. Reactor rápido refrigerado con sodio (SFR)

Posee un espectro neutrónico rápido y la posibilidad de trabajar con un ciclo de combustible cerrado por lo que, al igual que los GFR, realizan un buen aprovechamiento del combustible.

Este reactor puede ser utilizado principalmente para la generación de electricidad. El sistema posee dos intercambiadores de calor de los cuales uno está dentro del reactor. El sodio que está dentro del reactor (sodio primario) atraviesa el núcleo e ingresa al primer intercambiador de calor (el que se encuentra dentro del reactor) que utiliza sodio como refrigerante (sodio secundario). Luego el sodio secundario le transfiere el calor al fluido de trabajo del sistema de conversión de energía.

Como fluido de trabajo del sistema de conversión de energía están siendo considerados agua y dióxido de carbono a fin de lograr un alto nivel de eficiencia térmica,

seguridad, y confiabilidad.

5.5. Reactor refrigerado con agua en condiciones supercríticas (SWCR)

Este reactor utiliza agua en condiciones supercríticas como refrigerante, siguiendo un ciclo como en los BWR (*Boiling Water Reactor*) actuales pero sin ebullición en el reactor. Pueden trabajar con un ciclo de combustible abierto.

El refrigerante (agua en condiciones supercríticas) atraviesa el núcleo y se transforma en vapor, luego el vapor acciona la turbina que a su vez acciona el generador. El vapor que abandona la turbina se condensa en un intercambiador de calor y regresa como líquido al reactor.

Operan en condiciones de temperatura y presión elevadas, cercanas al punto crítico del agua (374°C y 22,1MPa). El espectro neutrónico puede ser térmico o rápido, dependiendo de la cantidad de moderador presente en el núcleo. Para un espectro rápido, el reactor no utiliza material moderador adicional, mientras que para el espectro térmico si se necesita moderador adicional en el núcleo.

Estos reactores poseen algunas ventajas respecto de los actuales reactores de agua liviana (LWR por sus siglas en inglés). Algunas de ellas son:

- Mayor eficiencia térmica, 44% contra 33-35% de los LWR.
- Baja velocidad del flujo másico del refrigerante, debido a la gran diferencia de entalpía entre los flujos de entrada y salida del mismo.
- En el sistema SWCR se eliminan los separadores de vapor, los secadores de vapor, las bombas de recirculación y los generadores de vapor. Por lo tanto estos sistemas son más simples con menor cantidad de componentes que los LWR.
- Como el refrigerante atraviesa una sola vez la carcasa del reactor, la masa de refrigerante es baja, y como su densidad también es baja, el edificio de contención puede ser más pequeño.

5.6 Reactores de muy alta temperatura (VHTR)

Este tipo de reactores es la evolución de los reactores refrigerados con gas. Utilizan helio como refrigerante y grafito como moderador. Poseen un espectro neutrónico térmico.

El helio del circuito primario atraviesa el núcleo y luego le transmite el calor al helio del circuito secundario en un intercambiador de calor. El helio del secundario caliente ingresa a la planta de producción de hidrógeno.

El objetivo principal de estos sistemas es su aplicación a procesos que requieren calor a alta temperatura, principalmente la producción termoquímica de hidrógeno. La temperatura de salida del refrigerante es de 1.000°C aproximadamente.

De todos los reactores destinados a la producción de hidrógeno, estos son los que están más avanzados, y

presentan dos variantes dependiendo de la forma del elemento combustible. Una de las variantes utiliza elementos prismáticos y en la otra variante el combustible forma un lecho de bolas (PBMR: *Pebble Bed Modular Reactor*).

En la Tabla 1 se resumen las características principales de los reactores de Generación IV con los ciclos termoquímicos a los que podrían acoplarse.

6. Conclusiones

En el presente trabajo se han presentado los beneficios de utilizar la energía nuclear como fuente de calor para la producción de hidrógeno y los procesos más estudiados para producción de hidrógeno nuclear, centrándose principalmente en los ciclos termoquímicos. Se presentaron las distintas familias de ciclos termoquímicos con sus correspondientes reacciones y en algunos casos su acoplamiento a un reactor nuclear. También se hace referencia a los ciclos termoquímicos híbridos, los cuales resultan de una combinación de ciclos termoquímicos y electrólisis.

Los reactores nucleares actuales no trabajan a la temperatura suficiente como para activar los ciclos termoquímicos (500°C) o para llevar cabo la electrólisis de alta temperatura (900°C). Los reactores nucleares que tienen la posibilidad de alcanzar estas temperaturas son los llamados reactores de Generación IV los cuales se espera que estén disponibles comercialmente entre el 2015 y el 2030.

Referencias

- [1] Muradov, N.Z. y Veziroglu, T.N. *From hydrocarbon to hydrogen-carbon to hydrogen economy*. *International Journal of Hydrogen Energy* 30 (2005) 225 – 237.
- [2] Martínez, P., Dawidowski, L, Gómez, D., Pasquevich, D. *Life cycle greenhouse emissions of compressed natural gas-hydrogen mixtures for transportation in Argentina*. *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (2010), 5793-5798.
- [3] Hohnholt K J. *Conceptual Design of Nuclear Systems for Hydrogen Production*. *Massachusetts Institute of Technology*, 2006.
- [4] Martinez S, Orden A, Roeb M, Le Duigou A, Dechelotte S, Cerri G. *Aplicaciones de la energía nuclear para la generación de hidrógeno. Conclusiones proyecto HYTHEC*. 34° Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española, Murcia 2008. Disponible en http://www.empre.es/0E_Autores.pdf
- [5] Yildiz B., Kazimi M.S. *Efficiency of hydrogen production systems using alternative nuclear energy technologies*. *International Journal of Hydrogen Energy* 31 (2006), 77-92.
- [6] International Atomic Energy Agency, 1999. *Hydrogen as an energy carrier and its production by nuclear power*, IAEA Report-TECDOC-1085.
- [7] Brown L. C., Funk J. F., Showalter S. K. *High efficiency generation of hydrogen fuels using nuclear power*. 2000.
- [8] FreedomCAR & Fuel Partnership. *Hydrogen production roadmap*. 2009.
- [9] Kameyama H., Yoshida K. *Br-Ca-Fe Water-decomposition cycles for hydrogen production*. *Proc. 2nd World Hydrogen Energy Conf.*, Zurich, Switzerland, pp. 829-850 (August 1978).
- [10] Sakurai M., Bilgen E., Tsutsumi A., Yoshida K. *Adiabatic UT-3*

thermochemical process for hydrogen production.

[11] Atomic Energy of Canada Limited <http://www.aec.ca/>

[12] Naterer G, Suppiah S, Lewis M, K Gabriel, Dincer I, Rosen M A, Fowler M, Rizvi G, Easton E B, Ikeda B M, Kaye M H, Lu L, Pioro I, Spekkens P, Tremaine P, Mostaghimi J, Avsec J, Jiang J. *Recent Canadian advances in nuclear-based hydrogen production and thermochemical Cu-Cl cycle. International Journal of Hydrogen Energy* 34 (2009), 2901-2917.

[13] Department of Energy United States <http://www.energy.gov/>

[14] GEN IV International Forum - <http://www.gen-4.org>

[15] José Ignacio Linares Hurtado, Beatriz Yolanda Moratilla Soria. *El Hidrógeno y la Energía*, Colección: Avances de Ingeniería – Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas 2. 2007

[16] Department of Energy United States, 2004. *Nuclear Hydrogen R&D Plan*.

Tabla I: Características principales de los diseños de reactores de Generación IV. Adaptada de [15].

Reactor	Espectro Neutrónico	Refrigerante	Temperatura [°C]	Potencia [MWe]	Productos Posibles	Ciclos Termoquímicos
GFR	Rápido	He	850	288	Electricidad e Hidrógeno	UT-3, Fe-Cl, Hy-H ₂ SO ₄ , Cu-Cl
LFR	Rápido	Pb-Bi	550-800	50-1200	Electricidad e Hidrógeno	UT-3, Fe-Cl, Cu-Cl
MSR	Epitérmico	Sales de F	700-800	1000	Electricidad e Hidrógeno	UT-3, Fe-Cl, Cu-Cl
VHTR	Térmico	He	1000	250	Electricidad e Hidrógeno	UT-3, Fe-Cl, I-S, H ₂ SO ₄ -Br, Hy-H ₂ SO ₄ , M-MHi, Cu-Cl
SFR	Rápido	Na	550	150-1500	Electricidad	Cu-Cl
SCWR	Térmico o Rápido	H ₂ O	510-550	1500	Electricidad e Hidrógeno	Cu-Cl

Trabajo presentado en la XXXVII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 22 al 26 de noviembre de 2010



NA·SA NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A.

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

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

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A.

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

A 50 años del Servicio de Asistencia Técnica a la Industria (SATI): apuntes de una heterodoxia

SANTIAGO N. ENRIQUEZ - Comisión Nacional de Energía Atómica

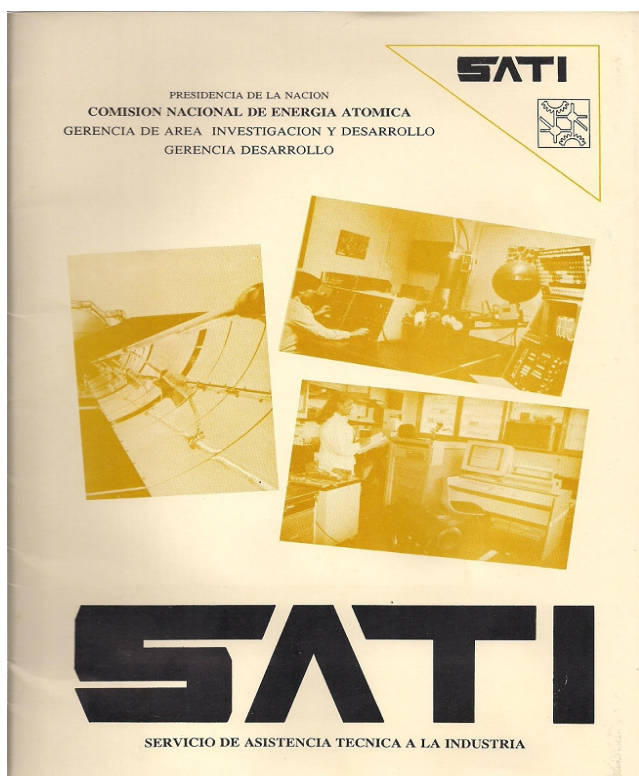
El presente trabajo pretende realizar un homenaje al Servicio de Asistencia a la Industria (SATI), al cumplirse este año 50 años de su creación.

En él, en primer lugar, se consideran las condiciones previas que posibilitaron el surgimiento del SATI en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Luego, se explicitan las características por las cuales el SATI se constituyó en un servicio de asistencia y asesoramiento a la industria, prácticamente sin precedentes en el país.

Por otro lado, este trabajo intentará rescatar los logros en materia de desarrollos innovativos, de formación técnica y de asistencia al sector productivo y a la CNEA, que demostraron la importancia del SATI tanto para esta institución como para el sector productivo.

Por último, se abordan las repercusiones del SATI en lo que respecta al desarrollo de nuevas concepciones acerca del aporte del conocimiento científico y tecnológico para el desarrollo de las sociedades.

This report is in honor of the 50° creation anniversary of the Service of Technical Assistance to Industry (SATI). This occasion is appropriate to think of the historical conditions which enabled, in the Argentine Atomic Energy Commission, the existence of SATI, a service completely new in Argentina. Secondly, this report describes its operative characteristics and its achievements in different fields: from the technical and industry-learning aspects up to the development of the understanding about the relation between Science, Technology and Society.



El SATI, la ventana a la industria de la CNEA.

El 23 de marzo de 1961, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (AIM, actualmente denominada ADIMRA) firmaron un convenio para organizar un "servicio de asistencia y

asesoramiento científico-tecnológico en problemas de metalurgia de transformación con el objeto de brindar asistencia técnica a la industria"(1). De esta manera, se funda en las instalaciones del Centro Atómico Constituyentes (CAC) el Servicio de Asistencia Técnica a la Industria (SATI). En el contenido del convenio, se explicitan los objetivos del SATI: 1) llevar a la industria los conocimientos modernos y nuevas técnicas que a través de la investigación básica y aplicada se han desarrollado en los últimos años, produciendo la revolución tecnológica que en el campo de los materiales estamos viviendo; 2) facilitar acceso a una mejor información científica para ayudar a la industria a resolver sus problemas técnicos mediatos e inmediatos, creando un organismo ágil de consulta; y 3) servir como núcleo de entrenamiento a fin de dotar al país de técnicos e ingenieros con bases rigurosas en diferentes aspectos de Ingeniería Metalúrgica (2).

Haciendo una primera observación, se puede vislumbrar que en los objetivos no hay una puntualización específica con respecto al área nuclear: un observador externo que atinase a establecer una relación directa de los objetivos explícitos del SATI con los objetivos institucionales de la CNEA, apreciaría que evidentemente la creación del SATI obedeció a aspiraciones que de algún modo se desviaban de la visión específica de una institución del área nuclear. La pregunta que podría suscitar esta observación es ¿por qué un servicio a la industria fue creado dentro de una institución dedicada especialmente al área nuclear? ¿Cómo llegó a incubarse un proyecto como el SATI en el seno de una institución especializada en el área de la energía nuclear? Para responder a estas preguntas es necesario hacer una retrospectiva y remitirse a la visión de los fundadores del Departamento de Metalurgia.



El ex presidente de CNEA, Oscar Quililiani, firmando el convenio con la AIM que fundó el SATI

La necesidad de metalurgia “convencional” y metalurgia nuclear.

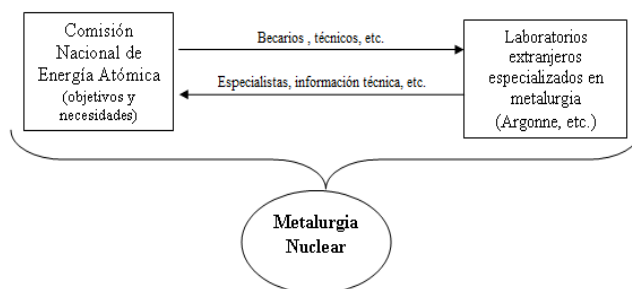
En una entrevista en ocasión del aniversario de los 15 años del Departamento de Metalurgia, el profesor Jorge Sabato recuerda que en 1954 fue convocado por el entonces presidente Iraolagoitía para instalar un laboratorio de metalurgia capacitado para resolver los problemas referentes a combustibles nucleares (3). Sin embargo, Sabato señala que, viendo las capacidades tecnocientíficas del país de aquel entonces, “(la metalurgia) no existía como disciplina académica en un sentido orgánico; ni siquiera había una sola persona en todo el país dedicada *full-time* a la investigación metalúrgica... había algunos laboratorios discretamente equipados e incluso en la Universidad Nacional de la Plata se podía seguir un curso de post-grado en ingeniería metalúrgica” (3). En efecto, el Laboratorio a instalarse “no tenía donde apoyarse y por la tanto debía construir sus propias bases” (3).

Viendo el panorama de la metalurgia en el país, el potencial de desarrollo sostenido de una rama de la metalurgia, la correspondiente al área nuclear, no era muy alto. Sabato resolvió este inconveniente con una decisión estratégica: “para resolver los problemas de metalurgia nuclear de la CNEA y de nuestro país no debíamos instalar un laboratorio específicamente de metalurgia nuclear, sino un laboratorio de investigaciones metalúrgicas capaz, por supuesto, de resolver los problemas nucleares, pero capaz también de resolver problemas metalúrgicos mucho más generales”(3). Además, Sabato agrega: “nos propusimos no sólo realizar nuestra propia actividad metalúrgica sino promover y apoyar la metalurgia en diferentes lugares para lograr con el tiempo que se convirtiese en la actividad

académica que merecía ser” (3).

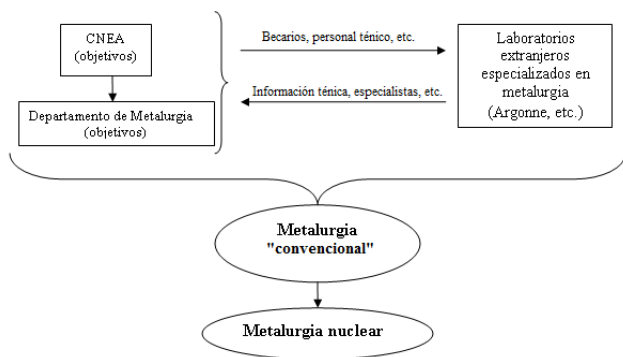
Esta decisión acarrea varias consecuencias. En primer lugar, alcanzar el conocimiento en materia de metalurgia nuclear, adquiriendo y desarrollando la disciplina metalúrgica general, implicaba apartarse de la solución más accesible ante una necesidad concreta, a saber: “muy sencillo: copiar algunos de los buenos laboratorios de metalurgia nuclear existentes en el mundo (como Argonne en EE.UU., Harwell en Gran Bretaña, Saclay en Francia, etc.), enviar becarios a esos centros y contratar expertos en metalurgia nuclear que nos enseñaran a trabajar en metalurgia nuclear”(3). En otras palabras, frente a una demanda por parte de la CNEA de una metalurgia especializada en el área nuclear, y en un contexto donde la metalurgia no estaba académicamente instalada en la Argentina, Sabato optó por comprometerse con las necesidades técnicas específicas de la CNEA, pero sin dejar de atender el vacío académico del país en materia de la disciplina “convencional”(4).

La lógica de división del trabajo científico técnico está dada por la disciplina, cuyo conocimiento tiene un límite marcado al interior, en su especialización misma.



Como puede observarse en el esquema, la necesidad singular de la CNEA podría haber sido satisfecha dentro de los límites de los objetivos institucionales. Sin embargo, Sabato es claro al plantear que “nuestro horizonte (el del Departamento de Metalurgia) de problemas iba mucho más allá del uranio y los elementos combustibles y debíamos estar preparados para tales responsabilidades” (3). Por eso, el asumir responsabilidades que superaban el ámbito del “uranio y los combustibles nucleares” implicaba una relativa autonomía dentro de la CNEA con respecto a la visión; por lo tanto, era necesario buscar el aval de las autoridades de la institución para aceptar la estrategia planteada por los fundadores del Departamento de Metalurgia.

* José Galvele introduce la división entre “metalurgia nuclear” y “metalurgia convencional”. Ver (4)



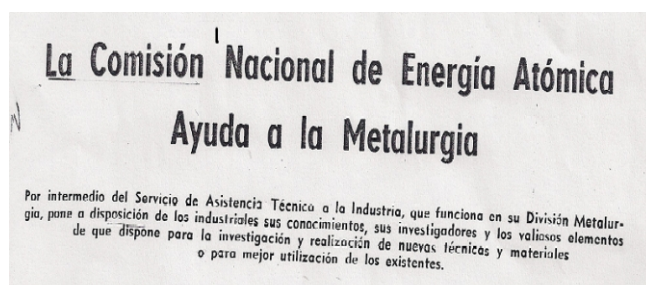
Este gráfico esquematiza el diferendo de objetivos entre la CNEA y el Departamento de Metalurgia. Puesto que el Departamento de Metalurgia es parte de la CNEA, su relativa autonomía lo separaba de la verticalidad estricta, en caso contrario el desarrollo del Departamento hubiera dependido totalmente de la planificación de la CNEA. Sabato afirma que “nosotros asumimos el compromiso de satisfacer todas las necesidades en metalurgia nuclear que nos planteara la CNEA; contra ese firme compromiso, solicitamos la más completa libertad para elegir el camino que nosotros creyésemos más conveniente para cumplirlo, por heterodoxo que ese camino pareciera a los observadores externos” (3). Asimismo, al plantearse como objetivo el desarrollo de la metalurgia en general, la circulación del conocimiento encuentra límites que sobrepasan la especialización nuclear, propia de la CNEA, y se fijan los límites “naturales” de la metalurgia convencional con sus múltiples especializaciones.

De acuerdo a las palabras de Sabato, esta complejización de la estrategia de desarrollo de la metalurgia en la CNEA se enmarcó en un propósito: “nuestro laboratorio debería ser un laboratorio creador... Para hacer posible esta tarea de creación era menester construir una base de conocimientos científico-técnicos lo más amplia y sólida posible de manera de poder enfocar problemas específicos con amplitud de miras” (3). Podemos afirmar que entre esos “problemas específicos” de los que habla Sabato, se encontraría la especialización nuclear.

En efecto, en el marco de los objetivos propios del Departamento de Metalurgia y su posterior desarrollo en los años subsiguientes, a través de los cuales fue posible la dotación de personal con conocimientos básicos y aplicados de la metalurgia convencional, surge el SATI. El SATI vino a atender, en palabras del doctor Carlos Martínez Vidal, quien perteneció al Departamento, “una de las preocupaciones del personal del Laboratorio, ya organizado éste... de poner los servicios del mismo a disposición de la industria nacional” (5). Es decir, el conocimiento adquirido y desarrollado en la disciplina metalúrgica debía ser aprovechado no sólo por el ámbito nuclear, sino también por el espectro general de la industria. En la misma línea, José Galvele, quien también perteneció al Departamento de Metalurgia, señala que Sabato afirmaba que “no era posible tener una inversión en equipos y en gente de la magnitud que se estaba creando

en el Departamento de Metalurgia, sin usarla como fuente de consulta y desarrollo para la industria mecánico metalúrgica” (4).

Por otro lado, Galvele relata que en 1961 al regreso de Oscar Wortman, integrante del Departamento de Metalurgia, del *Argonne National Laboratory* de los Estados Unidos, es convocado por Sabato para la creación del SATI*(4). Sin embargo, y retomando lo expuesto en líneas anteriores, se podría conjeturar que la posibilidad de la existencia de un servicio como el SATI ya se encontraba implícita en los objetivos autónomos del Departamento de Materiales porque, más allá de que la aplicación de los conocimientos metalúrgicos en el área nuclear ya estaba expresada por el apoyo institucional de la CNEA en la decisión de crear el Departamento. ¿No se decidió desde el inicio del Departamento que el desarrollo de la metalurgia podría satisfacer una carencia del país en ésta disciplina? Y entonces, ¿qué mejor forma de asumir esta responsabilidad que agilizando los vínculos con la industria metalúrgica, aplicando en forma de tecnología los conocimientos científicos adquiridos?



Artículo publicado en la Revista "Metalurgia" de la AIM, en 1961

El SATI: su funcionamiento

Hecho el recorrido anterior a la creación del SATI, podemos retornar a su visión y su misión.

El SATI tomó la forma de una *non profit organization*, de carácter mixto, ya que, si bien administrativamente formaba parte del Departamento de Metalurgia (y de la entonces Gerencia de Tecnología de la CNEA), la AIM financiaba parcialmente sus actividades.

En el inicio de sus operaciones el SATI dependía orgánicamente del Departamento de Metalurgia, el cual en ese entonces estaba dirigido por Sabato. Luego de 1968, cuando la CNEA reestructura su organigrama, se crea la Gerencia de Tecnología — que también queda bajo la dirección de Sabato — y el SATI pasa a su dependencia como departamento.

* Sería una investigación interesante encontrar las relaciones entre las actividades y visiones de aquel entonces de laboratorios internacionales como el *Argonne National Laboratory* de los EE.UU. o el *Harwell Laboratory* de Inglaterra y el SATI.

El funcionamiento del servicio era, como muchos documentos de la época señalan, “muy ágil” (6). Ante una determinada consulta, el SATI ofrecía gratuitamente el siguiente material:

- Información bibliográfica orientadora del problema: el SATI puso a disposición de la industria material bibliográfico de primer nivel, el cual estaba disponible principalmente en la Biblioteca del Departamento de Materiales.
- Evaluación técnica y económica del problema presentado.
- Información referente al laboratorio, centro, instituto público o privado, nacional o extranjero que con más celeridad, eficiencia y economía podría resolver el problema planteado: el SATI estaba en estrecho contacto con estos espacios, y en varias ocasiones estableció convenios de colaboración con laboratorios metalúrgicos de Alemania, Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos con el fin de elevar su capital científico-tecnológico.

En caso que el consultante decidiera que el SATI se hiciera cargo de la resolución del problema, el Servicio presentaba un plan de trabajo y un presupuesto estimado (sin fines de lucro). Ante la aceptación de las condiciones técnicas y presupuestarias, el SATI realizaba los trabajos en el menor tiempo posible. Para esto, el SATI se contactaba con otras secciones del Departamento de Metalurgia o con otros sectores de la CNEA para el problema a resolver.

Las consultas que atendía el SATI correspondían a la metalurgia de transformación, cuyos temas abarcaban: producción de aceros especiales; tratamientos térmicos de aceros especiales; fusión y colada de metales y aleaciones no ferrosas; tratamientos térmicos; purificación por fusión zonal y otros métodos; y transformación mecánica de metales ferrosos y no ferrosos (extrusión, laminación, trefilación, forja y prensado); estirado, embutido, corte, plegado, etcétera, de metales y aleaciones; desarrollo de aleaciones especiales; unión de metales (diversos métodos de soldadura); cerámicas y cermets; metalurgia de polvos, corrosión y acabado superficial; y desarrollo de métodos de control superficial.

Es importante destacar que la visión original del SATI no contemplaba la prestación de servicios de rutina –y en caso de que se hiciera con el objetivo de promoción del Servicio a las empresas nacionales-, ya que esto no era compatible con la política de prestar servicios que sirvieran para una elevación del nivel científico-técnico y no para el mantenimiento del ya existente. Además, el SATI procuraba no superponer actividades con otras instituciones que pudieran encargarse de este tipo de trabajo, como los institutos industriales.

Otra de las actividades realizadas por el SATI en pos de establecer estrechos contactos con la industria metalúrgica era la difusión de sus actividades: por un lado, se organizaban visitas del personal del SATI a industrias metalúrgica y seminarios realizados periódicamente, donde se invitaba al personal calificado de la industria metalúrgica. A partir de junio de 1961 comenzó a publicarse una sección en la revista “Metalurgia” de la AIM

llamada “Noticiero SATI”, en cuyas páginas el SATI exponía el seguimiento de cada una de las consultas técnicas a su cargo, sus resultados técnicos, y sus potenciales beneficios para la industria. Por otro lado, el SATI se presentó en *stands* en diferentes exposiciones nacionales e internacionales, exhibiendo su forma de operar y ofreciendo sus servicios.

Paralelamente, el SATI contribuía al adiestramiento técnico del personal de la industria, quien debía adaptarse a los cambios tecnológicos. Así, hacia 1974 el SATI ya había dictado cursos de Metalografía, Microscopía, Métodos Modernos de Metalografía, Deformación Plástica y Trabajado Mecánico. Asimismo, por medio de becas dispensadas por la CNEA, el SATI capacitó a profesionales y técnicos, que luego fueron contratados por industrias metalúrgicas. La organización de cursos de especialización apuntaba, en palabras de Martínez Vidal “a la elevación del nivel técnico (del personal) y la creación de interlocutores válidos en su seno” (5). Dicha validez surgía en base a la adquisición de conocimientos que permitían poder desempeñarse tanto en el terreno de la industria como en el de la investigación científica. En efecto, la capacitación tenía como fin incorporar en los industriales el “lenguaje de la investigación científica y tecnológica”.

En sus tres aspectos –asistencia, capacitación y difusión– el personal del SATI se sumergió en el apasionante mundo de la industria, reconociendo sus necesidades y sus potencialidades, y comprometiéndose con su desarrollo. Pero sobre todo, los participantes del SATI supieron involucrarse en sus roles de científicos, tecnólogos y técnicos en el desarrollo industrial del país (4).



Primera entrega del “Noticiero SATI”, publicado en la Revista “Metalurgia”, en junio de 1961

Atucha I – El grupo industria nacional y el rol del SATI

En ocasión de la construcción de la Central Nuclear Atucha I, la CNEA le asignó al SATI una serie de responsabilidades. Al prepararse el concurso de precios

para la central nuclear, la política de la CNEA y del Gobierno Nacional consistía en asegurar la máxima participación posible de la industria nacional en la construcción de los elementos que requeriría la central. Para esto, en 1965 la CNEA creó el “grupo industria nacional”, cuya misión consistía en estudiar, analizar y evaluar la parte contractual que asegurara la participación nacional. Esto suponía el examen de la capacidad de diversas firmas de familiarizarse con su equipo, tecnología, personal, antecedentes y problemas. El SATI estaba en condiciones de poder cumplir con esta misión ya que su personal estaba en estrecho contacto con la industria metalmeccánica.

Los principales suministros licitados en el país estaban representados por 71 ítems – a los que, al cabo de dos años de avance de la construcción, se adicionaron otros 25 ítems- distribuidos en los rubros de obra civil, montaje, transporte, seguros y suministros electromecánicos. La provisión de insumos locales significó un aporte de parte de la industria nacional del 40% en la construcción de la central nuclear (7).

Además, la capacidad productiva del SATI se involucró en la solución de los problemas de fabricación, ensayo, especificación y evaluación de los recipientes de presión y de los generadores de vapor de la central. Para esto, el personal del SATI se capacitó en técnicas metalúrgicas de avanzada para un mayor control de calidad, evaluación de defectos y selección de materiales.

Las nuevas responsabilidades surgidas de la construcción de la central supusieron para el SATI una reducción del tiempo de dedicación a los problemas específicos de la industria, pero la adquisición de nuevos conocimientos en técnicas metalúrgicas de avanzada para la industrialización, serviría posteriormente para el asesoramiento a la industria.

Los logros del SATI.

Las repercusiones del SATI pueden evaluarse desde el campo de los resultados técnicos e innovativos, de la política industrial y de la política científica.

Desde el aspecto técnico e innovativo, puede observarse el desempeño del SATI en sus primeros 13 años de existencia a través del crecimiento sostenido de los trabajos solicitados por diferentes sectores de la industria.

Departamento SATI – Cantidad de trabajos realizados*

Período	Cantidad de trabajos
1961-1964	350
1961-1971	450
1961-1974	500

*Fuente: publicación “Noticiero SATI”

Dichos trabajos fueron aplicados, en primer lugar, para el desarrollo de productos –también podrían clasificarse como innovaciones, desde el punto de vista de Sabato*(8)-. Entre los más importantes se destacan:

- Desarrollos de aleaciones: 1) cobre-circonio (Cu-Zr) para la fabricación de electrodos para máquinas de soldar. 2) cobre-silicio (Cu-Si) para la fabricación de filtros destinados a la industria cervecera y azucarera. 3) tungsteno-plata (W-Ag) para la fabricación de platinos de automotores. A consecuencia de estas investigaciones, estas aleaciones fueron manufacturadas en América Latina por primera vez.
- Desarrollo de un nuevo tipo de atmósfera protectora para el recocido brillante de cobre y aleaciones.
- Desarrollo de un nuevo tipo de material refractario para la fabricación de crisoles destinados a la fundición de aluminio.
- Desarrollo de un nuevo método para eliminar la acción nociva del plomo en el trabajado en caliente del cobre y sus aleaciones.
- Desarrollo de radiadores de aluminio para automotores.
- Estudio crítico del proceso electrolítico de galvanoplastia.
- Fabricación de latones con adición de uranio.
- Fabricación de evaporadores de aluminio por colaminación.

Además, los trabajos del SATI trataron el análisis de fallas y estructuras, el diagnóstico de dificultades de manufactura, la aplicación de nuevas técnicas y la puesta a punto de técnicas de fabricación

También, el SATI posibilitó la aplicación de técnicas metalúrgicas modernas, como la utilización de radioisótopos para el marcado de piezas y para los estudios de desgaste, de las técnicas metalográficas no destructivas para estudios in situ (réplicas) y la utilización múltiple de medidores de tensión.

Por otro lado, la información surgida de la actividad del SATI permitió la elaboración de valiosos informes para conocer el estado de desarrollo de la industria nacional. Como muestra distinguida de esto podemos citar el informe “Ciencia e Industria, un caso argentino”, publicado en 1974 en el marco del “Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico” del Departamento de Asuntos Científicos de la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos (OEA), realizado por el doctor Martínez Vidal y Alberto Aráoz, economista de la Universidad Di Tella. En primer lugar, en el informe se retoman los objetivos iniciales del SATI, para luego realizar una evaluación del desempeño del Servicio hasta esa fecha. En esta evaluación de la gestión, se utilizaron variables como clientes nacionales, clientes extranjeros, tamaño de las

* Sabato define a la innovación como un proceso de transferencia a la realidad socio productiva de los resultados de una investigación. Este conocimiento transferido está sujeto a variables socio-culturales, económicas, políticas y científicas. Ver (8)

empresas, complejidad de la asistencia, destino del trabajo del SATI (materia prima, material semielaborado, productos finales, equipos, proceso etc.) que bien actuaban como indicadores del estado de situación del SATI y, especialmente, de la industrialización del país.

Así, la lectura del informe permite sacar conclusiones de la “cultura” o el “espíritu innovador” de los industriales y del personal de fábrica de esa época. Por ejemplo, hacia 1974, el 46% de los trabajos del SATI de investigación y desarrollo - en su mayoría dirigido a nuevos procesos - no podía ingresar a la etapa de *innovación* o escala de producción por la resistencia al cambio tecnológico por parte del personal de las fábricas. Frente a esto, el SATI consideraba indispensable adiestrar a un profesional de la industria para que se encargase de hacer superar en la fábrica en la que se desempañaba, la escala previa al desarrollo en la fábrica. Al mismo tiempo, los industriales demandaban al SATI en su mayoría trabajos de “*trouble shooting*”, y no trabajos que derivaron en creación tecnológica, lo que dejaba en claro la falta de una política industrial destinada a la generación de independencia tecnológica, la transferencia de tecnología nacional y la adaptación local de la tecnología importada.



C.C.N° 32-Sucursal 64 B
(1464) Capital Federal
Tel. 754-7265/7259/7281
Fax 754-7387/7383
E-mail: badino@cnea.edu.ar

SATI
Conocimientos tecnológicos
al servicio de la industria

Comisión Nacional de Energía Atómica - Centro Atómico Constituyentes - Servicio de Asistencia Técnica a la Industria

LLAMADA GRATUITA
0-800-40295

siderurgia-energía-petróleo-gas-alimentación-petroquímica
transporte-industrias extractivas-agua-medio ambiente
farmacología-papelera-metal mecánica-biomateriales
siderurgia-energía-petróleo-gas-alimentación-petroquímica
transporte-industrias extractivas
farmacología-papelera-metal
siderurgia-energía-petróleo
transporte-industrias ex
farmacología-papelera
siderurgia-energía-pet
transporte-industrias ex
farmacología-papelera-metal
siderurgia-energía-petróleo-gas
transporte-industrias extractivas-agua-medio ambiente
farmacología-papelera-metal mecánica-biomateriales
siderurgia-energía-petróleo-gas-alimentación-petroquímica
transporte-industrias extractivas-agua-medio ambiente

A nivel de política científica tecnológica debemos remarcar que, en la mayoría de los trabajos que tratan la vida y obra de Jorge Sabato, el SATI aparece como un logro que permitió la relación entre la ciencia y la tecnología y la industria. Sin embargo, no hay estudios que profundicen la contribución específica del SATI, no sólo como uno de los tantos éxitos del profesor Sabato - y del Departamento de Metalurgia, como así lo remarcará Sabato en ocasión de cumplirse 15 años del Departamento - sino también como tributador a un pensamiento en ciencia, tecnología y desarrollo. Profundicemos en esta cuestión.

Galvele sostiene que si bien el SATI alcanzó logros, éstos “fueron puntuales”. No obstante, la visión de Sabato “apuntaba al desarrollo de la tecnología a nivel nacional”. Para alcanzar ese horizonte de desarrollo es necesario pasar por un enfoque político, y es ahí donde, como sostiene Galvele, “Sabato ve la acción del gobierno fundamental. Sabato hasta ese momento trabajaba con la relación laboratorio-industria y ve que el gobierno es indispensable para poner la parte legal que favorezca la transferencia (de tecnología)” (10). En efecto, el SATI, a través sus potencialidades aún no puestas en acción y de su visión rectora, puede considerarse como el puntapié inicial para pensar la relación triangular Estado - Ciencia y Tecnología - Industria (o sector productivo): los vértices involucrados en el famoso “triángulo de Sabato”. El SATI podría considerarse como una herramienta de transferencia de tecnología, como afirma Galvele, “a nivel limitado”, ya que sus actividades involucraban la demanda del sector industrial y el asesoramiento en materia científica tecnológica, dos vértices del triángulo; aún faltaban los instrumentos de promoción dados por el vértice Estado. Asimismo, llama la atención que entre la creación del SATI en 1961 y la primera exposición del Triángulo de Sabato, en 1968, haya transcurrido la cantidad de años suficientes como para ver en la madurez del SATI la práctica de lo que luego se plasmaría en un modelo de política científico tecnológica.

Como planteamos al inicio del trabajo, el SATI surgió como heterodoxia en el seno de la heterodoxia del Departamento de Materiales. No obstante, su singularidad puede considerarse como una “escala piloto” que, desde su actividad práctica, aportó para el desarrollo de las ideas de la Escuela Latinoamericana de Pensamiento en Ciencia, Tecnología y Desarrollo (ELAPCYTED)*, del cual la CNEA fue partícipe a través de algunos de los integrantes del Departamento de Metalurgia. La ELAPCYTED postulaba “por un lado, la necesidad de generar soluciones tecnológicas productivas a nivel micro y, por otro, la inserción de políticas sectoriales y nacionales de desarrollo

* Actualmente, la ELAPCYTED se denomina “Pensamiento Latinoamericano en Ciencia, Tecnología y Desarrollo” (PLACTED). En el presente trabajo optamos por la sigla ELAPCYTED por una cuestión semántica: para enfatizar en el carácter de “Escuela” la aplicación teórica y práctica del pensamiento en ciencia y tecnología para el desarrollo de las sociedades latinoamericanas. Ver (9)

tecnológico como variable fundamental del desarrollo económico y social integral” (9). El SATI cumplió con la primera parte de los postulados de la ELAPCYTED, por lo que lo inserta, de acuerdo a Martínez Vidal, como uno de los principales hitos del desarrollo de la Escuela (11).

Es aquí donde cobra mayor importancia lo sostenido anteriormente acerca de la relativa autonomía del Departamento de Materiales con respecto a los objetivos propios de la CNEA. Entonces, retomando las palabras de Sabato -“nuestro horizonte (el del Departamento de Metalurgia) de problemas iba mucho más allá del uranio y los elementos combustibles y debíamos estar preparados para tales responsabilidades” (3)-, podría considerarse esas “responsabilidades” en el marco de la incubación de las ideas que luego se plasmarían tanto en la puesta en marcha del SATI, como en el aporte del mismo al pensamiento de la ELAPCYTED, lo cual desborda el alcance del SATI más allá de los límites institucionales de la CNEA.

A modo de conclusión y epílogo

Otorgar un valor al Servicio de Asistencia Técnica a la Industria implicó la reconstrucción de su historia y sus influencias posteriores. Cabe destacar que dicha reconstrucción estuvo basada en el relativamente escaso material que trató especialmente el funcionamiento y los resultados del SATI. Actualmente, es notoria la falta de registro y de estudios sociohistóricos acerca del SATI que se encuentren disponibles para posteriores evaluaciones de sus más de 40 años de actividad. Sin embargo, consideramos que esta valoración, a pesar de “incompleta”, fue necesaria para realizar aproximaciones

sobre la historia del SATI.

De todas maneras, este trabajo de “rescate” trajo varios interrogantes: ¿Quiénes son los destinatarios del conocimiento metalúrgico? ¿Que clase de compromiso asumen las instituciones de ciencia y tecnología para la elevación de la competitividad tecnológica de las industrias? ¿Qué cuota de responsabilidad social emerge de la actividad realizada por los que trabajan desde sus laboratorios para el desarrollo productivo de un país? En la actualidad, y a casi diez años de su disolución, el recuerdo del SATI nos remite a estas preguntas, con la misma vigencia de 50 años atrás, cuando se la formularon algunos integrantes del Departamento de Metalurgia de la CNEA.

El SATI, desde la práctica, vino a intentar responder a estas cuestiones en un contexto donde ciencia y tecnología no se pensaban, como diría Sabato, “al servicio de la trama misma del desarrollo de una sociedad” (9); donde ciencia y tecnología eran variables de las que pueden prescindir el sector productivo para su crecimiento; donde ciencia y tecnología eran conceptos que designaban excelencia, éxito, pureza, pero no política, debate público, proyectos, asistencia técnica, innovación. Sus respuestas generaron nuevos horizontes de acción, nuevas ideas, nuevas actividades, es decir, un cambio renovador que hacen del SATI una heterodoxia.

La mejor manera de homenajear a esta “ventana a la industria” pionera es abrir otras ventanas: las que permitan el paso de las enseñanzas que dejó el accionar del SATI, tanto para la memoria de las anteriores generaciones como para el conocimiento de las que se están incorporando a la actividad científica y tecnológica, en la CNEA y en otras instituciones.

Agradecimientos

El autor agradece la enorme ayuda y motivación de Rafael Castro y los aportes del Ing. Ricardo Bernal Castro, y del Ing. Néstor Badino.

Bibliografía

- (1) Convenio entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Asociación de Industriales Metalúrgicos (AIM). Buenos Aires, 21 de marzo de 1961.
- (2) Sabato, Jorge (1974): Plan de Actividades del Departamento de Metalurgia de la Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina. En: Primera Conferencia de Expertos Latinoamericanos en Metalurgia de Transformación. Volumen I. Buenos Aires, 18-23 Agosto, 1964.
- (3) Sabato, Jorge (1972): “15 años de metalurgia en la CNEA”, Revista Ciencia Nueva, No. 15, pp. 7-15.
- (4) Galvele, José Rodolfo (2009): Jorge Sabato, Creador de la Metalurgia en CNEA o ¿Cómo se hace para crear un laboratorio de excelencia?
- (5) Aráoz, Alberto y Martínez Vidal, Carlos (1974): Ciencia e Industria, un caso Argentino, OEA, Estudios sobre el Desarrollo Científico y Tecnológico, N°19, Washington, D.C.
- (6) Fernández, Javier (2010): Importación de tecnologías capital-intensivas en contextos periféricos: el caso de Achucha I (1964-1974). Revista Iberoamericana CTS, VOL 16, N°16, pp. 1-16.

(7) Wortman, Oscar (1974): Plan de Actividades del Servicio de Asistencia Técnica a la Industria (SATI). En: Primera Conferencia de Expertos Latinoamericanos en Metalurgia de Transformación. Volumen I. Buenos Aires, 18-23 Agosto, 1964.

(8) Sabato Jorge y Botana, Natalio (1968): La Ciencia y la Tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. En: Revista de la integración, INTAL, Buenos Aires, Año1, N°3, pp.15-36.

(9) Martínez Vidal, Carlos y Marí, Manuel (2002): La Escuela Latinoamericana de Pensamiento en Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Notas de un Proyectos de Investigación. En: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación N°4 Septiembre-Diciembre.

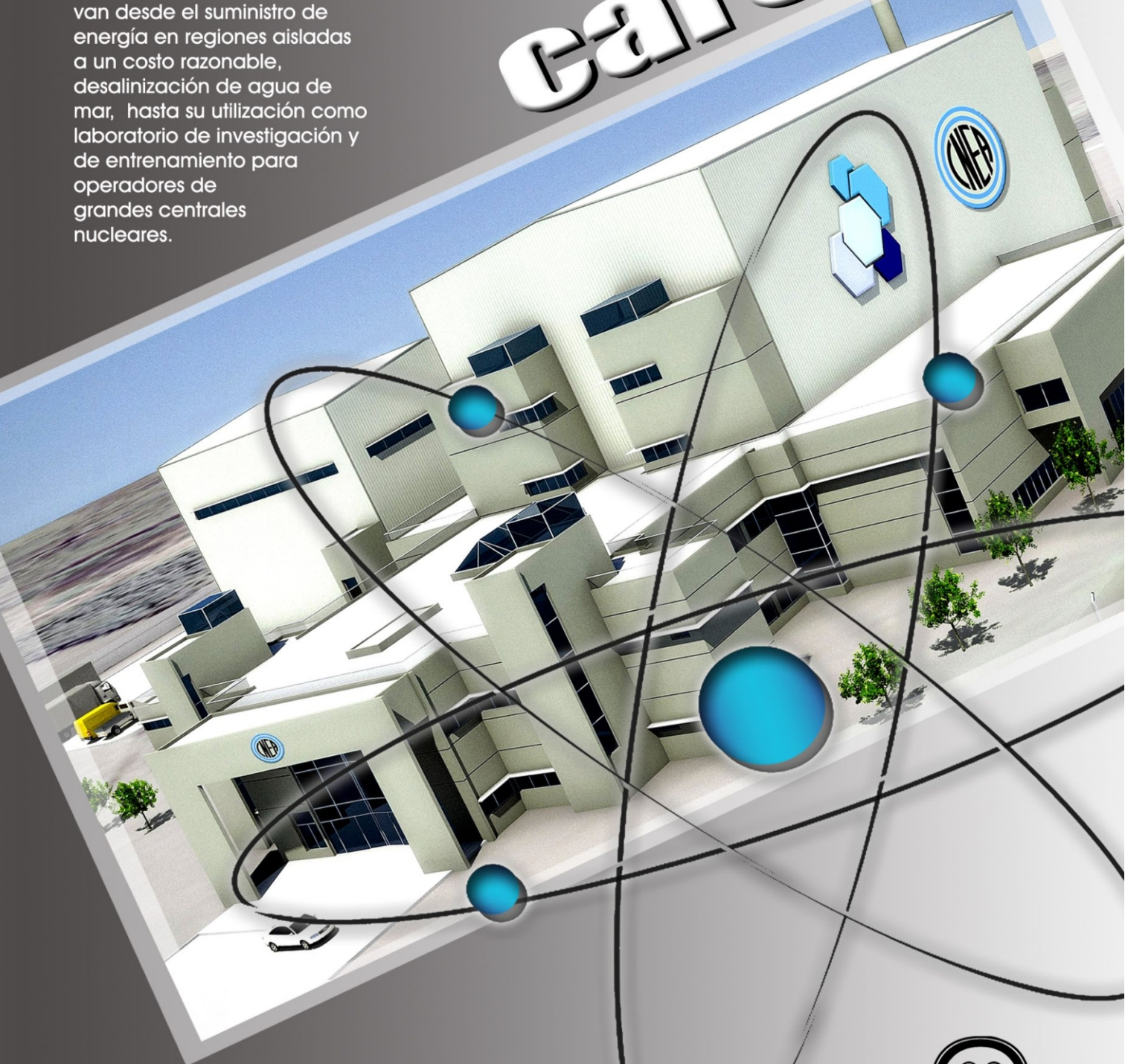
(10) Forlerer, Helena (1997): Reportaje al Dr. José R. Galvele, directos del Instituto de Tecnología “Prof. Jorge Sabato”. En: Revista “El Hombre y sus Materiales desde su origen en las ciencias hasta sus aplicaciones en los mercados”. Buenos Aires, Año II, Número 7.

(11) Martínez Vidal, Carlos (2005): Sobre los 50 años de la Sociedad Argentina de Metales y las políticas de desarrollo tecnológicos-innovativos. En: Taller de Ciencia e Ingeniería de Materiales realizado por la Sociedad Argentina de Materiales (SAM) realizado en Neuquén el 16 de junio de 2005.

“Trabajo presentado en la XXXVIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 14 al 18 de noviembre de 2011

Es un proyecto de central nuclear de baja potencia (25 MW eléctricos) concebida con un diseño de última generación. Sus aplicaciones van desde el suministro de energía en regiones aisladas a un costo razonable, desalinización de agua de mar, hasta su utilización como laboratorio de investigación y de entrenamiento para operadores de grandes centrales nucleares.

carem



aatn

apoyando los proyectos
nucleoeléctricos argentinos



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

Reactores semi-homogéneos para la producción de radioisótopos

ENRIQUE E. PASQUALINI - Laboratorio de Nanotecnología Nuclear - Centro Atómico Constituyentes - Comisión Nacional de Energía Atómica

Los reactores semi-homogéneos son aquellos que poseen un compuesto de uranio en forma de partículas suspendidas y distribuidas homogéneamente en el líquido moderador. Varios desarrollos de éste tipo de reactores fueron presentados por varios países hace más de 50 años en las Conferencias de Ginebra I, II y III (1955, 1958 y 1964) sobre los Usos Pacíficos de la Energía Atómica y en 1961 en el Simposio sobre Reactores Experimentales en Viena.

En particular, el reactor experimental de suspensión de Holanda, KEMA (KSTR), fue desarrollado, construido y operado exitosamente en las décadas del 60 y del 70. Era un reactor de 1MWt donde el combustible eran esferas de 5 micrones de óxidos mixtos de uranio y torio, UO_2/ThO_2 , suspendidas en agua liviana circulando en un circuito cerrado en un recipiente esférico.

Una de las ideas de estos reactores con partículas en suspensión era la de aplicar el efecto del retroceso de los productos de fisión como un medio de purificación del combustible: los productos de fisión no volátiles salen de las partículas micrónicas y pueden ser adsorbidos en carbón activado disperso y removible del líquido.

Seguramente este método puede presentar algunas ventajas y mejores rendimientos para la producción de molibdeno⁹⁹ y otros radioisótopos de vida media corta ya que pueden ser extraídos de los adsorbentes utilizados sin presencia de uranio.

Es de interés evaluar los diferentes aspectos ya desarrollados de estos reactores y qué detalles hace falta modificar y profundizar para la actualización de la tecnología de los reactores de suspensión para la producción de radioisótopos. Importantes datos pueden ser obtenidos de los desarrollos actuales de reactores homogéneos en solución. Además, grandes avances se han realizado en los últimos años en nanotecnología que pueden ser utilizados en la preparación de las partículas combustibles, medios adsorbentes y filtrantes y de control.

Semi-homogeneous reactors are those having dispersed particles of a uranium compound suspended in a liquid moderator. Around 50 years ago, in Geneva Conferences I, II and III (1955, 1958 and 1964) on the Peaceful Uses of Atomic Energy, and also in Vienna Symposium on Reactor Experiments (1961), several papers were presented by different countries referring to advances in homogeneous suspension reactors.

In particular, the Dutch KEMA Suspension Test Reactor (KSTR) was designed, built and successfully operated during the sixties and seventies. It was an 1MWth reactor in which a suspension (6 microns spheres) of mixed UO_2/ThO_2 in light water was circulated in a closed loop through a sphere-shaped vessel.

One of the basic ideas about these suspension reactors was to apply the fission recoil separation effect as a means of purification of the fuel: the non-volatile fission products can be adsorbed in dispersed active charcoal and removed from the liquid.

Undoubtedly, this method can present some advantages and better yields for the production of Mo-99 and other short lived radioisotopes, since they have to be extracted from liquid in which practically no uranium is present.

It is important to evaluate the different aspects that have to be taken into account regarding these reactors and which details are necessary to modify and deepen in order to update the technology of suspension reactors for radioisotope production. Important data can be obtained from conducted experiments in homogeneous solution reactors. Also, in recent years, great advances have been made in nanotechnology that can be used in tailoring of fuel particles, adsorbent porous media, filtration and control.

Introducción

Los radioisótopos obtenidos de la fisión del ^{235}U son normalmente producidos a partir de un material blanco en un reactor heterogéneo [1, 2]. En un reactor homogéneo el material físil se encuentra directamente en solución en el moderador y los productos de fisión pueden ser separados directamente del fluido sin necesidad de utilizar un blanco adicional. Esta alternativa, y la posibilidad de usar uranio de bajo enriquecimiento (LEU), hace que los reactores homogéneos sean atractivos para ser estudiados desde el punto de vista de producir comercialmente radioisótopos salvaguardando objetivos no proliferantes [3]. Actualmente existen reactores homogéneos funcionando

en el mundo desde hace más de 30 años con potencias de hasta 0 kW para la realización de diversas experiencias [4].

Reactores homogéneos con partículas en suspensión

A fines de la década de 1930, experimentos de laboratorio realizados por H. Halban y I. Kowarski en la Universidad de Cambridge en Inglaterra indicaron que una reacción en cadena auto sustentable podía ser conseguida con una suspensión de partículas de óxido de uranio (U_3O_8) en agua pesada [5]. Estos desarrollos iniciales de reactores semi-homogéneos fueron interrumpidos por la escasez de agua pesada. Experimentos posteriores recién fueron realizados cuando se pudo disponer de uranio enriquecido.

Simultáneamente, con el desarrollo de los reactores homogéneos de sales de uranio en solución ácida [6] varios prototipos de reactores con combustibles fluidos de partículas en suspensión o semi-homogéneos fueron diseñados [7]. Para el fin de la década del 40 existía un creciente interés en determinar las potencialidades de suspensiones de compuestos sólidos de uranio como combustible nuclear ya que las soluciones de sulfato de uranio presentaban inestabilidades a alta temperatura. Suspensiones de combustible y de material fértil con óxidos de uranio y torio también fueron probadas en reactores reproductores debido a que se podían conseguir mayores concentraciones que en el caso de las soluciones homogéneas.

Una especial atención estaba dirigida a los reactores homogéneos debido a que una alta densidad de generación de energía podía ser obtenida con coeficientes negativos de temperatura, sin elementos combustibles estructurales, posibilidades de purificación continua y altos quemados. Estas ventajas también son comunes a los reactores semi-homogéneos. Algún prototipo fue diseñado para trabajar con una suspensión de UO_2 ligeramente enriquecido utilizando agua liviana como moderador [8].

La idea de este prototipo era investigar la estabilidad del reactor frente a las fluctuaciones en la concentración de la suspensión, el comportamiento de las partículas en suspensión, los materiales del reactor y el moderador líquido frente a la corrosión, la erosión, la atrición de las partículas, el daño por radiación y la descomposición del fluido. También era de interés investigar los métodos de purificación continua y en tandas sabiendo que, por ejemplo, por razones de seguridad, los neutrones retardados deben ser liberados dentro del reactor y que esto está relacionado con las condiciones de control en la velocidad de circulación de las partículas en suspensión. A pesar de que el propósito de este prototipo era la producción de energía, es interesante tener en cuenta que el tamaño de las partículas entre 5 y 12 micrones es tal que gran parte de los productos de fisión termina en el líquido con una baja probabilidad de alojarse en otras partículas. La finalidad de esto es poder separar más fácilmente productos de fisión “venenosos” - con alta sección de captura neutrónica -; otros productos de fisión o radioisótopos de interés pueden también ser separados. La descomposición del líquido de la suspensión causado por los productos de fisión, en promedio, es un factor dos veces menor que en un reactor homogéneo dado que parte de la energía es liberada dentro de la partícula donde se generan. También es de esperarse una menor descomposición de otros electrolitos presentes, como ser los provenientes de las sales y ácidos presentes en los reactores homogéneos.

Los reactores homogéneos pueden ser clasificados como de combustible circulante o en ebullición, dependiendo del método utilizado para remover el calor generado. Un reactor de fluido en circulación es aquel en el que el fluido combustible circula dentro del reactor y un equipo de intercambio externo de calor remueve el calor por convección natural o forzada. En un reactor en

ebullición el calor es extraído por la volatilización del refrigerante en el reactor y condensando el vapor separado en intercambiadores de calor externos [9]. El reactor en ebullición puede operar con una circulación organizada o desorganizada de la mezcla activa [10]. También los reactores acuosos fueron clasificados como de una o dos regiones, de acuerdo a la distribución del material fértil y fértil [9]. Estas clasificaciones pueden también ser extrapoladas para el caso de los reactores semi-homogéneos.

Un tema a tener en cuenta -mirando hacia la experiencia obtenida en el pasado- es que tanto los reactores homogéneos como los semi-homogéneos fueron desarrollados para la producción de energía. Hoy en día, nuevos diseños de reactores homogéneos para la producción de radioisótopos pueden ser ideados teniendo en cuenta que las potencias puestas en juego serán menores.

Revisión de desarrollos con suspensiones

Es ilustrativo comentar las palabras iniciales y finales del trabajo del Laboratorio Nacional de Oak Ridge titulado “Suspensiones acuosas de uranio y torio” [11] sobre combustibles físi les y fértiles en suspensión: varias ventajas fueron tempranamente reconocidas cuando estudios químicos e ingenieriles preliminares fueron llevados a cabo en la Universidad de Columbia y la de Chicago, con un énfasis especial afirmando que suspensiones de uranio como combustibles homogéneos tienen la significativa ventaja sobre soluciones de ser menos corrosivos; y concluyendo que tanto sistemas de combustible en suspensión como material fértil en suspensión pueden ser desarrollados para propósitos nucleares después de analizar la estabilidad química, los métodos de preparación, la abrasión-corrosión, el apelmazado, las características de sedimentación y los métodos de bombeo.

El Proyecto de Reactor Avanzado de Pensilvania (PAR), que comenzó en 1955, tenía como objetivo determinar la factibilidad de construir un reactor presurizado homogéneo acuoso de 150 MW (eléctrico) para una estación central de potencia con una mezcla de combustible de óxido de uranio y material fértil de óxido de torio en suspensión en una única región [12, 13]. Francia [14], Holanda [15, 16] y Checoslovaquia [17] también mostraron interés en suspensiones con: uranio dispersado en un reactor con ebullición (PHOEBUS), reactor presurizado del tipo acuoso con un 4% en volumen de UO_2 enriquecido al 20% en ^{235}U en una suspensión con partículas de entre 4-13 micrones de tamaño [18] (KSTR, KEMA Suspension Test Reactor) [19, 20] y un reactor homogéneo presurizado con combustible en suspensión de U_3O_8 enriquecido de 10 MW térmicos, respectivamente. El Reino Unido llevó a cabo investigaciones químicas en la preparación y propiedades de suspensiones de óxidos de torio, uranio y plutonio [21] mientras que Australia investigaba sobre las propiedades dinámicas de suspensiones en circuitos con bombas para obtener información de un reactor con un combustible en suspensión en un metal líquido [22].

Características generales y de las partículas

Todo hace suponer de que no hay diferencias significativas entre usar una solución o una suspensión en el análisis del tipo de reactor homogéneo (en circulación o en ebullición) para ser utilizado en la producción de radioisótopos. Potencias específicas de 20 kW por litro de suspensión, o incluso mucho más altas, y flujos de neutrones térmicos mayores de $2 \cdot 10^{13}$ n/cm²seg pueden ser obtenidos. De experiencias pasadas en reactores semi-homogéneos una serie de consideraciones pueden ser enumeradas desde el punto de vista de las implicancias referidas a partículas en suspensión.

El tamaño de las partículas debe ser menor que las distancias de penetración de los productos de fisión, que son ligeramente menores a los 10 micrones. Si la concentración de las partículas es pequeña (pocos porcientos en volumen), como sería el caso de utilizar uranio enriquecido al 20% (LEU), es de esperarse que gran parte de los productos de fisión queden en el agua y no reingresen a otra partícula. El límite inferior del tamaño de una partícula estará determinado por la posibilidad de una suficiente separación entre ellas en el agua, que contiene a su vez productos de fisión en solución o cómo pequeños precipitados. Esta dimensión puede ser considerada que debe ser mayor que 1 micrón. En el criterio de menor tamaño también se puede considerar que los retrocesos nucleares producidos por capturas neutrónicas que no producen fisiones sean menores que el tamaño mínimo de tal forma de retener la mayor cantidad de núcleos transformados por captura neutrónica en la partícula sólida. La velocidad de decantación en agua de partículas de 10 micrones de óxido de uranio es de aproximadamente 0.5 mm/seg. Esta velocidad indica que algún tipo de agitación debe ser implementado para mantener las partículas en suspensión.

La descomposición del agua en suspensiones es menor que en el caso de soluciones debido a que parte de la energía cinética de los productos de fisión se retiene en la partícula de origen. Podría también suceder que exista algún efecto catalítico en la superficie de las partículas que promueva la recombinación del oxígeno y el hidrógeno. Si la velocidad de generación y de recombinación no fuese suficiente, como en el caso de diseños de alta potencia, un sistema adicional de recombinación de estos dos gases debe ser incorporado en algún tipo de cámara superior (plenum).

Es de desear que las partículas tengan baja superficie específica para reducir la adsorción de los productos de fisión generados. Para disminuir los efectos de adsorción, las partículas pueden ser recubiertas convenientemente con algún material amorfo, óxidos mixtos, o incluso grafito. El recubrimiento puede a su vez ayudar al control de la erosión, atrición y propiedades hidrodinámicas. El hecho de que los productos de fisión puedan ser controlados para que estén casi con exclusividad en el agua y sin contacto con uranio es un sistema interesante para intentar mejorar los rendimientos en la extracción de radioisótopos, en particular ⁹⁹Mo. Este tema, o verificación de esta hipótesis, es interesante para

realizar los primeros experimentos. Desde otro punto de vista, el agregado de sustancias adsorbentes como partículas de carbón activado, puede ayudar en la remoción de los productos de fisión insolubles del líquido. Partículas, precipitados y solución pueden ser manipuladas y separadas para procesamiento posteriores por medio de hidrociclones especialmente diseñados.

En los casos de suspensiones también se debe prestar atención a la posibilidad de atrición de las partículas, debidas a las colisiones de la suspensión en movimiento, al daño por radiación y a las inestabilidades que podrían suceder con decantaciones debidas a fallas en la circulación del líquido compuesto.

Debido a que la suspensión de partículas se la concibe fundamentalmente como un sistema físico en contraste con soluciones que tienen características químicas, otros fluidos pueden ser considerados para ser utilizados como moderadores, como ser el caso de compuestos orgánicos tipo difeniles y terfeniles [23].

Comentarios

El renovado interés en reactores homogéneos para la producción de radioisótopos se ve materializado -por ejemplo- en el desarrollo de un diseño conceptual para un reactor de 200 kW [24, 25, 2] similar en diseño al Reactor Argus del Instituto Kurchatov en Rusia y el análisis de la factibilidad para la producción de isótopos de uso médico [26]. Desde el punto de vista teórico se están desarrollando métodos de modelización de estos sistemas homogéneos en solución [27, 28, 29]. Estas experiencias y modelizaciones pueden ser extrapoladas en los estudios de reactores con partículas en suspensión, donde además de la estabilidad del sistema se pueden modelizar aspectos fluido dinámicos. Trabajos preliminares a éste fueron publicados en forma nacional e internacional [30, 31].

Conclusiones

En reactores en solución la concentración de uranio está limitada por la solubilidad y/o efectos de corrosión; en suspensiones, por la viscosidad efectiva y las características de sedimentación. Concentraciones de hasta 4.000 g/litro pueden ser consideradas para las suspensiones, cuatro veces mayores que en soluciones.

Importantes controles en la química del fluido pueden ser llevados adelante en el caso de partículas en suspensión dado que la presencia de uranio y plutonio se ve extremadamente reducida fuera de las partículas. El tamaño y la concentración de las partículas en suspensión debe ser tal que los productos de fisión queden en el líquido sin que reingresen a otra partícula. Es de esperar que algunas características propias de reactores con partículas en suspensión puedan contribuir a facilitar y mejorar los rendimientos de extracción de radioisótopos de interés.

Partículas compuestas con los elementos físis y partículas que adsorban los productos de fisión pueden ser diseñadas en beneficio de mejorar las capacidades en la producción de radioisótopos.

Referencias

1. H. Bonet. Security of Supply for Fission Medical Radio-Isotopes Based on Optimal Use of the Test Reactor Network. RRFM, 22 -25 March 2009, Vienna, Austria.
2. Medical Isotopes Production Without Highly Enriched Uranium. The National Academies Press. Washington, D.C. (2009). <http://www.nap.edu/catalog/12569.html>
3. E. Bradley, P. Adelfang and N. Ramamoorthy. IAEA Publication: Tecdoc-1601 – Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactors for the Production of ⁹⁹Mo and Other Short Lived Radioisotopes. RRFM, 22 -25 March 2009, Vienna, Austria.
4. En Rusia el ARGUS (20 kW) y el GIDRA (10kW), y en Francia el SILENE (1 kW). Base de datos de reactores experimentales de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) <http://www.iaea.org/worldatom/rddb/>
5. Aqueous Homogeneous Reactors. Chapter 1, p. 1. Homogeneous Reactors and their Development. Ed. J. A. Lane. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA. June 1958. <http://www.energyfromthorium.com/FluidFuelReactors.html>
6. Nuclear Reactor Engineering. S. Glasstone and A. Sesonske. Ed. D. Van Nostrand Company, Inc. Princeton, New Jersey, USA. 1963.
7. Idem [5]. Chapter 4. Technology of Aqueous Suspensions.
8. H. de Bruyn et al. The Design of a Small Scale Prototype of a Homogeneous Power Reactor Fueled with a Uranium Oxide Suspension. Proc. Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 3. Geneva, 1955. p. 116-120.
9. R. B. Briggs and J. A. Swartout. Aqueous Homogeneous Power Reactors. Proc. Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 3. Geneva, 1955. p. 175-187.
10. A. I. Alichanow et al. A Boiling Homogeneous Nuclear Reactor for Power. Proc. Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 3. Geneva, 1955. p. 156-174.
11. A. S. Kitzes and R. N. Lyon. Aqueous Uranium and Thorium Slurries. Proc. Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 9. Geneva, 1955. p. 414-422.
12. W. E. Johnson et al. Design Considerations for the Pennsylvania Advanced Reactor Plant. Proc. Second Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 9. Geneva, 1958. p. 202-210.
13. W. E. Johnson et al. Technology of Aqueous Thorium Slurries for Single-region Homogeneous Reactors. Proc. Second Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 7. Geneva, 1958. p. 34-38.
14. J. Benevise et al. Ideas Concerning a Homogeneous Reactor Project. Proc. Second Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 9. Geneva, 1958. p. 415-426.
15. P. J. Kreyger et al. Development of a 250 KW Aqueous Homogeneous Single Region Suspension Reactor. Proc. Second Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 9. Geneva, 1958. p. 427-440.
16. J. J. Went. The Aqueous Homogeneous Suspension reactor Project. Proc. Third Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 11. Geneva, 1964. p. 266-273.
17. V. Zajic, J. Pfann and J. Gregor. Design of an Experimental 10 MW Homogeneous Reactor Fueled with Circulating Uranium Oxide Suspension in Light Water. Proc. Second Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 9. Geneva, 1958. p. 441-446.
18. A. Hermans. The Preparation of Uranium Dioxide Fuel for a Suspension Reactor. Proc. Second Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 7. Geneva, 1958. p. 39-44.
19. J. A. H. Kersten, J. J. Went and J. J. van Zolingen. Physical Aspects of an Aqueous Homogeneous Suspension Reactor. Proc. Series. Symposium on Power Reactor Experiments I. Vienna, 1961. p. 197-223.
20. M. E. A. Hermans et al. Chemical Aspects of an Aqueous Homogeneous Suspension Reactor. Proc. Series. Symposium on Power Reactor Experiments I. Vienna, 1961. p. 225-245.
21. J. K. Dawson et al. Some Chemical Problems of Homogeneous Aqueous Reactors. Proc. Second Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 7. Geneva, 1958. p. 22-33.
22. R. C. Cairns. Fluid Flow Studies of Simulated Suspensions for a Liquid Metal Fuel Suspension Reactor. Proceedings of the Second International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 7. Geneva, 1958. p. 45-53.
23. C. A. Trilling. The OMRE-a Test of the Organic Moderator-Coolant Concept. Proceedings of the Second International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 9. Geneva, 1958. p. 468-489.
24. E. Reynolds. Overview of Babcock & Wilcox Medical Isotope Production System (MIPS). 30th RERTR 2008 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. Washington, D.C. USA. October 5-9, 2008.
25. G. Vandegrift, S. Chemerisov, J. Fortner, A. Gelis, J. Jerden, D. Stepinski, A. Zeigler, and A. Bakel. Overview of Argonne Progress Related to Implementation of Mo-99 Production by Use of a Homogeneous Reactor. 30th RERTR 2008 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. Washington, D.C. USA. October 5-9, 2008.
26. R.M. Ball. Characteristics of Nuclear Reactors Used for the Production of Molybdenum-99. pages 5-17. Production technologies for Molybdenum-99 and Technetium-99m. IAEA-TECDOC-1065. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency. 1999.
27. F.J. Souto and R.H. Kimpland. Reactivity Analysis of Solution Reactors for Medical-radioisotope Production. Nucl. Insts. And Methods in Phys. Research B **213** (2004) 369-372.
28. F.J. Souto and A. S. Heger. A Model to Estimate Volume Change due to Radiolytic Gas Bubbles and Thermal Expansion in Solution Reactors. LA-UR-01-0673. <http://lib-www.lanl.gov/la-pubs/00357114.pdf>
29. Y. Li et al. FMSR: A Code System for In-core Fuel Management Calculation of Aqueous Homogeneous Solution Reactor. Nucl. Eng. And Design 240 (2020) 763-770.
30. E. E. Pasqualini. Revisiting Homogeneous Suspension Reactors for Production of Radioisotopes. Transactions of the 14th International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management (RRFM) 21 -25 March 2010, Marrakech, Morocco.
31. Enrique E. Pasqualini. Reactores semi-homogéneos para la producción de radioisótopos. XXXVII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. 22 al 26 de noviembre de 2010. Claridge Hotel. Buenos Aires, Argentina.

Trabajo presentado en la XXXVII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 22 al 26 de noviembre de 2010

Perlas históricas de la Comisión Nacional de Energía Atómica

RAFAEL H. CASTRO - Archivo Histórico y Fotográfico – Gerencia de Comunicación Social - Comisión Nacional de Energía Atómica

El objetivo principal del trabajo que se realiza en el Archivo Histórico y Fotográfico de la CNEA es la búsqueda y recopilación de la información que permita rearmar la historia de la Institución. Es una tarea ardua que implica no sólo la revisión de documentación escrita sino la identificación de imágenes en fotos y videos antiguos.

El grueso de esta información nos remite a una historia que, aparentemente, todos conocemos; sin embargo, hay actividades de la CNEA que no son tan vívidas en la memoria colectiva. Hemos rescatado, para su difusión, cuatro de ellas que nos atrevemos a mencionar como perlas históricas, entendiendo que las peculiaridades también conforman y expresan la identidad de la institución:

- El Grupo de Buenos Aires porque constituyó, en el año 1951, el primer laboratorio del edificio de la Sede Central, el de Radioquímica, dirigido por el químico alemán Prof. Dr. Walter Seelman-Eggebert.
- Las Termas de Copahue porque pertenecieron a la CNEA por decreto N° 12.259/53 hasta 1959, año en el que pasaron a la provincia del Neuquén.
- El *Atomium* porque es una construcción particular hecha en el año 1970 por los empleados de Planta Malargüe en honor al átomo, símbolo de la CNEA.
- El sincrociclotrón de Buenos Aires porque, como resultado del ofrecimiento formulado por el Príncipe Bernardo de Holanda al Gral. Perón, en febrero de 1952, se contrata la adquisición de este acelerador, inaugurado en 1954, que permitió el descubrimiento de la mayoría de los veintidós nuevos radionucleídos registrados por el Grupo de Buenos Aires.

Este sencillo aporte pretende fomentar la creación de una conciencia colectiva acerca de la CNEA como centro de investigación, como institución gubernamental y, fundamentalmente, como colectivo social que agrupa a científicos, técnicos y administrativos. El objetivo es facilitar el abordaje de las actividades y logros de la CNEA por parte de la comunidad y acompañar a la Institución en la construcción de un desarrollo equilibrado, ambientalmente correcto y socialmente equitativo.

The main objective of the work performed in the Historical and Photographic Archive of the Argentine Atomic Energy Commission (CNEA) is the search and collection of information that allows us to reassemble the history of this institution. This is not an easy task since it not only involves the review of written documentation but also entails images in old photos and videos. The main body of information refers to a story that, apparently, we all know. However, there are activities of CNEA that are not so vivid in the collective memory. We have rescued, for diffusion purposes, four of them that we dare to mention as historical pearls, understanding that their peculiarities also make up and express the identity of the institution:

- *The Group of Buenos Aires because it was in the year 1951, the first laboratory of the building of CNEA Headquarters, the Radiochemistry Lab, directed by the German chemist Prof. Dr. Walter Seelman-Eggebert.*
- *The Hot Bath of Copahue because it belonged to CNEA by Decree 12259/53 until 1959, year in which it was transferred to the province of Neuquén.*
- *The Atomium because it is a particular construction performed in the year 1970 by the employees of the Malargüe Plant in honor of the atom, symbol of CNEA.*
- *The Buenos Aires synchrocyclotron because, as a result of an offer by the Prince Bernhard of Holland to General Perón, in February 1952, this accelerator was purchased. It was inaugurated in 1954 and allowed the discovery of the majority of the 22 new radionuclides registered by the Group of Buenos Aires.*

This simple contribution hoped to promote the creation of public awareness about CNEA as a research Centre, as a government agency and, primarily, as a collective social umbrella agency to group scientific, technical and administrative professionals. The objective is to provide an integrated approach to the community on the activities and achievements of CNEA and to accompany the Institution in its balanced development. This development is concerned with the due care of the environment and society."

EL GRUPO DE BUENOS AIRES

¿Sabía Ud. que... el primer laboratorio del edificio de Sede Central fue el de radioquímica, ubicado en el primer piso, dirigido por el químico alemán Walter Seelmann-Eggebert?

El Dr. Seelmann-Eggebert había sido seleccionado por el Dr. Horacio Descole, Rector de la Universidad Nacional de Tucumán en 1949 para la creación de un laboratorio de físico-química, comenzando su tarea con isótopos naturales de dos elementos pesados (aquellos con un elevado número de protones y neutrones); el uranio y el torio, obtenidos estos dos minerales de la empresa Fabricaciones Militares.

Convocado por el Ing. Otto Gamba, Vicedirector de la CNEA, viene a Buenos Aires, primero desde el 1° de marzo de 1951 como *part-time* con la citada Universidad y en setiembre de ese año se radica definitivamente en la Capital Federal.

Pone en marcha el Laboratorio de Radioquímica ingresando a él, en setiembre de 1951, la Dra. Josefina Rodríguez y el Dr. Gregorio B. Baro, en diciembre la Lic. María C. Palcos y en enero de 1952 la Dra. Sonia Jorge Nassiff.

En el Laboratorio se llevan a cabo los primeros métodos de separación y purificación de uranio y se realizan las separaciones de los isótopos radiactivos naturales, como base del entrenamiento radioquímico.

La actividad del Laboratorio se extiende al campo de la radiactividad artificial con la instalación del acelerador Cockroft-Walton y del sincrociclotrón adquiridos a la empresa Philips de Holanda, orientándose a la búsqueda de nuevos radioisótopos artificiales de período corto. La energía de las partículas y la corriente del haz, altas para la época, hacían del Sincrociclotrón de Buenos Aires una de las pocas máquinas en el mundo particularmente aptas para la búsqueda de nuevos nucleídos.

Un factor muy positivo con que contaron los radioquímicos fue la existencia del grupo de electrónica e instrumentación dirigido por el Dr. Kurt Franz, que desarrollaba y construía equipos de detección y medición de radiaciones que estaban a la vanguardia de la electrónica mundial en ese entonces.

Coincidió también que en la CNEA se había formado un grupo de jóvenes físicos dedicados a la espectrometría nuclear. Los "coloquios" sobre los trabajos en curso y sobre el tema de la física y la química nuclear eran semanales y por lo general muy apasionados.

A todo ello se sumó el aporte de especialistas extranjeros de renombre que visitaron la CNEA, como los radioquímicos Aten de Holanda, Boussieres de Francia, Götte de Alemania y Maddock de Inglaterra, y de físicos como Hittmair de Austria.

Integraban el grupo de radioquímica en los años cincuenta los químicos Sara Abecasis, E. Álvarez, L. Angheleri, G. Baro, H. Carminatti, F. Batistelli, J. Flehenheimer, D. Gatti, C. Henkel, Sonia J. Nassiff, N. Nussis, J. Pahissa-Campa, María C. Palcos, P. Rey, E.

Ricci, V. Rietti, Josefina Rodríguez, R. Rodríguez Pasques y R. Radicella, los médicos D. Beninson y F. Mas, y la física Ilse Franz. El grupo estaba secundado por asistentes de laboratorio muy competentes: Ernesto Belis, Olga Casanova, Josefina Crespo, Ana María Ferrari, Alicia Medina e Irene Zabala, varios de los cuales procedían del Instituto Massone (que anteriormente funcionase en el edificio destinado en 1951 a ser Sede Central de la CNEA).

Los trabajos de este grupo cubrían un abanico de actividades, unos - como en la Universidad Nacional de Tucumán - se dedicaban a la química del uranio y el torio, otros determinaban las secciones eficaces de las reacciones nucleares.

Se producían y purificaban radionucleídos para el grupo de espectroscopía nuclear.

También propiciaban las aplicaciones de los radioisótopos como trazadores y la metrología de las radiaciones.

Pero el tema que acaparaba los esfuerzos del "Grupo de Buenos Aires", nombre con que se conocía en el exterior al grupo de radioquímicos argentinos, fue la búsqueda de nuevos radionucleídos y la determinación de sus propiedades.

La disponibilidad del sincrociclotrón y la existencia de un grupo de radioquímicos bien entrenados en separaciones rápidas facilitaron mucho las tareas de la búsqueda.

El gran entusiasmo y la dedicación del grupo de jóvenes guiado por Seelmann-Eggebert dieron rápidamente sus resultados.

En la Primera Conferencia sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, celebrada en Ginebra en agosto de 1955, a dos años de la instalación en Buenos Aires del acelerador Cockroft-Walton y a menos de un año de la del Sincrociclotrón, la Argentina comunicó el descubrimiento de una decena de nuevos Radioisótopos.

El hecho causó sorpresa y desconfianza por los sucesos acaecidos en el Proyecto Huemul, pero el nombre de Seelman-Eggebert y la discusión de los trabajos en la conferencia terminaron con las dudas. Es así como se comenzó a dar crédito a la existencia de los radioisótopos descubiertos en Buenos Aires, que fue confirmada por investigadores de otros países.

En 1955 Seelman-Eggebert volvió a establecerse en Alemania; no obstante el Grupo continuó la búsqueda y, a principio de los años sesenta, el número de los nucleídos descubiertos alcanzó a los veinte.

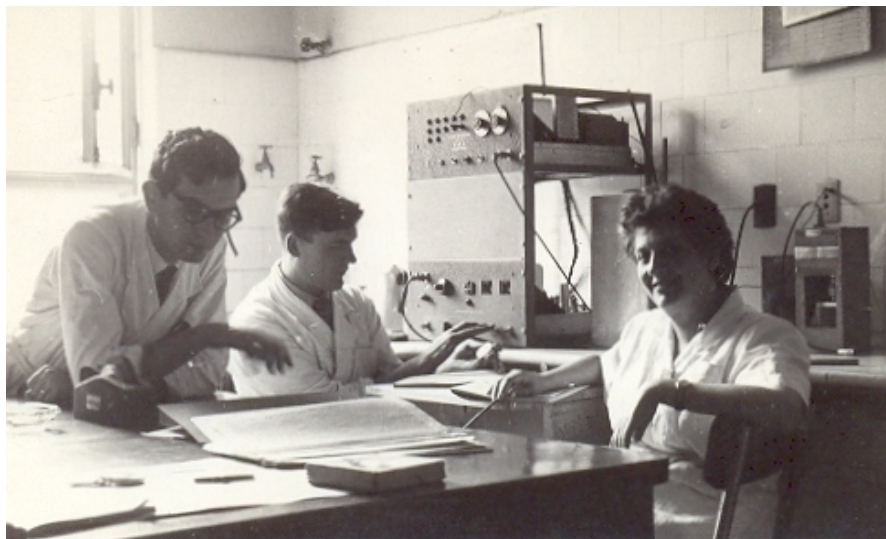
El grupo de radioquímica fue evolucionando y sirvió de base para algunas de las actividades del desarrollo nuclear de nuestro país.

Sobre la base de ese grupo pionero se formaron los sectores de producción y aplicación de radioisótopos y radiaciones, de radiofarmacia, de reprocesamiento de combustibles nucleares y de calibración de fuentes radiactivas.

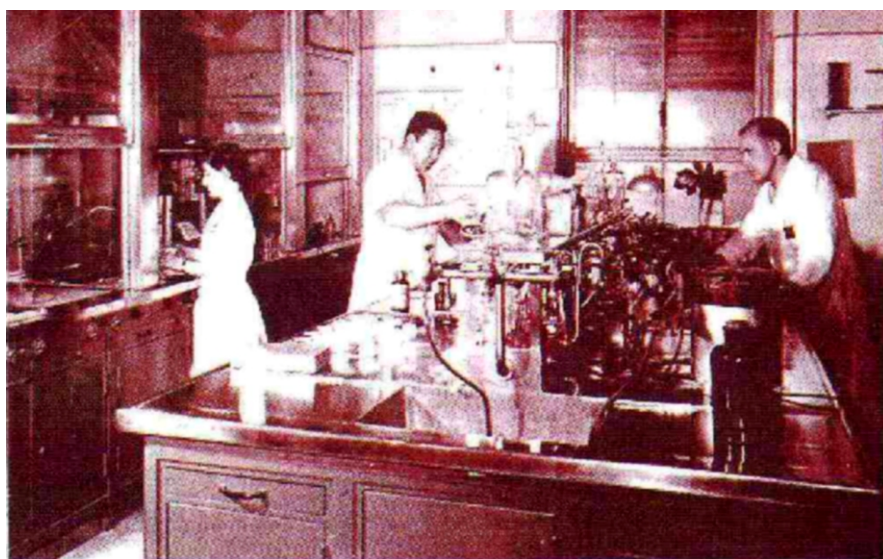
Es así que alrededor de 1965 ya se habían redefinido las funciones de los radioquímicos y comenzaba una nueva etapa dedicada a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico.

No se puede cerrar este capítulo sin rendir reconocimiento a la brillante trayectoria del Dr. Renato Radicella recientemente fallecido (el 22 de abril de 2011), que desde los inicios de la radioquímica en Tucumán desempeñó numerosos cargos en la CNEA y en varias de

sus empresas asociadas, como Presidente, Director y Jefe de Proyectos, y que, siendo nombrado Investigador Emérito de la Institución, asesoró con su particular visión a las autoridades y al personal que asiduamente lo consultaba.



Vistas del primer Laboratorio de Radioquímica en la Sede Central de la CNEA



LAS TERMAS DE COPAHUE

¿Sabía usted que... mediante el Decreto N° 12.259 del 3 de julio de 1953, se creó en el ámbito del Ministerio de Asuntos Técnicos y dependiendo de la Dirección Nacional de la Energía Atómica, la Administración de la Reserva Nacional de Copahue, palabra de origen mapuche que significa "lugar del azufre"?

El titular de la Administración de la Reserva tenía jerarquía de Director General y dependía directamente del Director Nacional de la Energía Atómica. Debía ejercer el gobierno y administrar los contratos técnico-

administrativos de todas las zonas abarcadas por la Reserva, y efectuar la planificación y ejecución de las obras necesarias para el usufructo integral de los dones climáticos y térmicos y de los contratos especiales para la práctica de deportes de invierno. También realizaba la investigación científica de las fuentes minerales con fines médicos y energéticos.

Además de la suma que anualmente se le asignaba por presupuesto, quedaban afectados al servicio de la Administración de la Reserva los montos percibidos por la venta de materias primas de Copahue y por la explotación por la industria farmacéutica de productos medicinales

elaborados con ellas, y los derechos de edificación, mejoras, cercos, construcciones en general y demás servicios que prestaban.

A principios del mes de septiembre de 1953, llegaron a la Reserva dos agentes designados por la Dirección de la Administración para tomar posesión de las Termas y, en diciembre de ese año vuelven acompañados por el Administrador de la Reserva, el señor Enrique Eguireum, designado por la Dirección Nacional de la Energía Atómica. Esos dos agentes eran Renato Terigi y Osvaldo Suarez, quienes también habían participado en el relevamiento patrimonial y traslado al Centro Atómico Bariloche de los bienes existentes en el Proyecto Huemul.

Cuenta Terigi que cuando llegaron acompañados por el guía, éste les dijo: “Llegamos”; ellos miraron para todos lados y no vieron nada; entonces el guía les señaló: “Están acá abajo”. Los edificios estaban cubiertos por cuatro metros de nieve.

Como se dijo anteriormente, en diciembre, a medida que iba concurriendo el personal que normalmente todos los años hacía la temporada, los iban contratando y, para mediados de mes, los baños, la farmacia, la carpintería, el hospital, los baños públicos, etc. estaban en condiciones de recibir a los turistas.

Un habitué de las termas, según cuentan los memoriosos, era Francisco Canaro.

Desde el año 1954 y hasta su transferencia en 1959 a la Provincia de Neuquén por el Decreto-Ley N° 10.872, los productos de la Reserva eran comercializados por la Empresa Odol S. A. que tenía su local de venta en la calle Juramento, en el barrio de Belgrano. En él se exhibían las muestras de las distintas calidades de agua y barro. Parte de su personal pasó a desempeñarse en la Sede Central de la CNEA.

Calles calefaccionadas en Copahue

Como dato anecdótico merece citarse que el gobierno neuquino encargó, en enero de 1997, a ENSI (Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería) asociada a la CNEA, un estudio de factibilidad para calefaccionar las calles de Copahue. Dos meses más tarde, se realizó una prueba piloto basada en la calefacción de paneles mediante vapor geotérmico, que también incluyó pruebas de corrosión efectuadas en las cañerías. En vista de los resultados obtenidos, el gobierno del Neuquén, por intermedio de la Subsecretaría de Energía, encargó la construcción de un vaporducto de 2.800 m de longitud, la perforación de un nuevo pozo geotérmico y la construcción de 576 paneles o losas radiantes. La obra fue realizada en dos etapas e inaugurada el 9 de abril de 1999.

Con la inauguración de las calles calefaccionadas con vapor geotérmico en la Villa Termal Copahue, la Argentina se convirtió en el primer país del mundo en contar con este sistema.

Datos técnicos de la obra

578 lozas radiantes
45.000 m de cañería de acero al carbono

600 trampas de vapor
600 válvulas esféricas
1.700 m de canal de distribución
2.830 m de vaporducto
1.300 m de profundidad en el pozo geotérmico COP IV

EL ATOMIUM

¿Sabía usted que...en el predio de la localidad de Malargüe (Mendoza), donde se está llevando a cabo el Programa de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU), desarrollaba sus actividades el Ex Complejo Minero Fabril Malargüe?

La antigua “Fábrica Malargüe” fue parte entrañable de la historia de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Nace en el año 1954, a solo cuatro años de la creación de la misma, con el objeto de producir en forma industrial concentrado comercial de uranio (*yellow cake*) a partir de minerales de uranio de la zona.

Fue la primera instalación de este tipo en América Latina y la que formó a la mayoría de los especialistas en esta primera etapa del Ciclo de Combustible.

Al finalizarse las operaciones con uranio, se encaró el cierre definitivo de las instalaciones y la disposición final de las colas del mineral y la restitución ambiental del predio, obteniéndose un crédito del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial) para financiar la obra que, cuando se concluya, se estima habrá convertido al mismo en una zona de esparcimiento para la población, con una configuración acorde con el entorno natural.

Las cabreadas del galpón de la Planta Malargüe fueron trasladadas al Centro Atómico Bariloche y procedían originalmente de uno de los laboratorios del Proyecto Huemul, como así también un grupo electrógeno.

En honor al átomo, el personal de la Planta, sintiéndose identificado con su pertenencia a la CNEA y siendo éste el símbolo de la Institución, en la década del setenta fabrica una estructura atómica que fuera denominada *Atomium*. La misma consistía en la representación de un átomo con su núcleo y los electrones girando alrededor. Las partes metálicas (núcleo y electrones) eran las bolas de un viejo molino desarmado, y las órbitas eran los sunchos de las cubas de madera de quina donde se lixiviaba el mineral de uranio.

Esta estructura estaba armada en el extremo de una ménsula curva de hormigón, sobre una plataforma del mismo material. Completaba el conjunto una batea de cemento, situada al lado del mástil.

Al llevarse a cabo el desmantelamiento de la Planta para ejecutar su gestión final, el *Atomium* fue trasladado al Complejo Minero Fabril de San Rafael donde hoy da la bienvenida al personal y a todos aquellos que se acercan a sus instalaciones.

Vistas del *Atomium*



El *Atomium*, concebido y armado por los compañeros de la Planta Malargüe hace cuarenta años constituye una obra artesanal que se suma al patrimonio cultural de la Institución.

EL SINCRROCICLOTRÓN DE BUENOS AIRES

¿Sabía Ud. que... el 18 de febrero de 1952 se firma un contrato con la Empresa Philips de Holanda para la adquisición del sincrociclotrón, mereciendo recordarse la curiosa historia de su origen que es por pocos conocida?

Poco después del sensacional anuncio, en marzo de 1951, de los resultados supuestamente obtenidos en el Proyecto Huemul, el Príncipe Bernardo de Holanda visitó el país y se interesó naturalmente por los trabajos que se realizaban en dicho Proyecto.

El interés del Príncipe no era sólo científico, sino también comercial, y un mes más tarde envía a un destacado científico, el Físico Nuclear C. J. Bakker de la Universidad de Ámsterdam, para que ofrezca instrumentos a R. Richter, Jefe del Proyecto Huemul.

Bakker fue quien construyó el sincrociclotrón de Ámsterdam y venía a ofrecer, en primer lugar, los planos de ese acelerador.

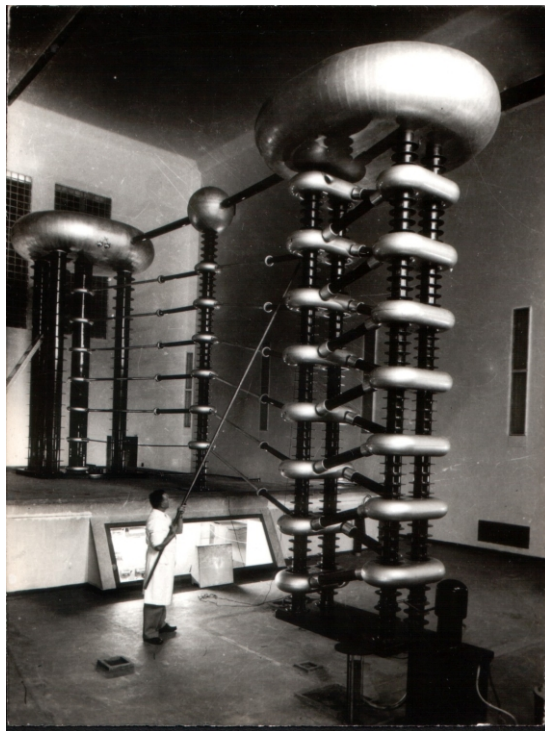
Pero a Richter no le interesaba un sincrociclotrón. No obstante, el 28 de mayo de ese año, le escribe a Perón aconsejando su compra para el Centro de Formación de Físicos Atómicos, refiriéndose a la Dirección Nacional de la Energía Atómica de reciente creación, que estaba a cargo del Coronel Enrique P. González. Éste, asistido por el Ing. Otto Gamba, concretó el contrato de compra, siendo su costo de 3.000.000 de florines holandeses y su forma de pago: 30% a la firma del contrato, 30% a los seis meses, 30% un año después y 10% quince días después de su puesta en funcionamiento.

La obra debía completarse el 18 de febrero de 1956, pero la perseverante supervisión del Presidente de la CNEA, el Capitán de Fragata Pedro Iralagoitia, con la colaboración del Dr. Mac`Millan y el Ing. Silberman y la llegada de técnicos holandeses, en diciembre de 1953 se acelera su construcción, inaugurándose el 2 de diciembre de 1954, mucho antes del plazo establecido.

De lo expuesto podemos deducir que no existieron estudios de factibilidad, comités de estudio ni simposios previos. Tampoco se contaba con físicos nucleares que pudieran opinar técnicamente. Simplemente se compró, constituyendo una de las mejores inversiones científicas efectuadas por el país.

Lo que llama la atención es que con el sincrociclotrón llega de la Philips el acelerador encascada Cockcroft-Walton (del cual no existen antecedentes de compra), asumiéndose que la misma posiblemente haya sido gestionada directamente por Perón al Príncipe Bernardo, inaugurándose en 1953.

A los fines de obtener más antecedentes y adquirir conocimientos sobre las bondades de generación del sincrociclotrón de Amberes, gemelo del que compra la CNEA, son comisionados a Holanda el estudiante avanzado de físico-matemática Carlos A. Mallman y el Dr. Fidel Alsina Fuertes. Después de Holanda, Mallman visita Inglaterra y luego Suecia. En la Universidad de Upsala toma contacto con el grupo de Espectrometría y da comienzo a una relación que se mantiene en la actualidad.



Acelerador en cascada Cockcroft-Walton (1953)

Con los datos obtenidos en Upsala, Mallmann fabrica el espectrómetro naranja, que presenta como tesis de su doctorado.

En la Segunda Conferencia Átomos para la Paz, realizada en Ginebra en 1958, el espectrómetro naranja es exhibido en el *stand* de la CNEA junto con otros logros.

En 1955 el Dr. Santos Mayo sucedió al Ing. Galloni como Jefe del Laboratorio del Sincrociclotrón. Poco después viaja a EE.UU. (*Columbia University*) donde trabaja con el Dr. Cohen en reacciones nucleares utilizando el ciclotrón de esa institución.

A su regreso, retoma la conducción del Laboratorio.

Su gran capacidad y dinamismo lo señalan como el verdadero gestor de las modificaciones introducidas a la máquina, enfrentando los riesgos de una experiencia en la conducción adquirida “sobre la marcha”, sintiendo muy intensamente esa responsabilidad.

Antes de analizar algunas de esas modificaciones, es necesario conocer los conceptos del Dr. Mayo sobre el sincrociclotrón: la máquina que Philips nos vendió al comienzo de la década de 1950, constituyó la segunda versión del diseño de C. J. Bakker y F. A. Heyn realizado luego de la finalización de la Segunda Guerra Mundial. El prototipo de ésta máquina fue instalado en el *Institute for Nuclear Physics Research* de Ámsterdam, Holanda, y fue oficialmente inaugurado el 10 de noviembre de 1949. Cinco años después, precisamente el 4 de noviembre de 1954 se obtuvo el primer blanco activado con deuterones de 20 MeV en el sincrociclotrón de Buenos Aires, instalado en la Sede Central de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Continuando el relato del Dr. Mayo, este acontecimiento marcó para la ciencia nuclear argentina un momento trascendente en el que se produjo la gran discontinuidad: saltamos del clásico laboratorio universitario, en el que un osciloscopio era un lujo, al recinto blindado construido de acero y cemento, con doble paredes, tanques, conteniendo toneladas de agua y albergando grandes bloques de hierro, aluminio y acero, equipos generadores e instrumental de control como jamás se había visto en una instalación dedicada exclusivamente a la investigación científica en la Argentina.

Recordemos que el período inicial de operaciones (al que el Dr. Mayo lo denomina de “guante blanco”) que se extendió por un año, estuvo dedicado al grupo de radioquímica. El esfuerzo fue puesto en la activación de blancos internos con deuterones de 28 MeV para investigaciones de estructura nuclear y secciones eficaces de activación. Se adquirió familiaridad con el fondo de neutrones rápidos que se filtraba a través del recinto blindado del acelerador y se tomó conciencia de que con semejante máquina se podrían hacer algo más que activar blancos internos.

Es así que a principios de 1956, ante la realidad de la máquina con su entrehierro de 30 cm y un campo magnético acimutalmente simétrico, sólo cabría pensar en términos de una perturbación magnética regenerativa localizada sobre la órbita final de aceleración que indujera suficiente ganancia radial entre órbitas sucesivas como para deflectar el haz interno hacia un canal magnético colocado a continuación del primero, el haz así deflectado sería gradualmente guiado hacia el exterior del acelerador.

Esta técnica habría sido propuesta para el ciclotrón

de la Universidad de Chicago y en 1955 la primera aplicación exitosa fue realizada en el ciclotrón de la Universidad de Liverpool.

Los profesionales del Laboratorio se plantearon la posibilidad de diseñar y construir un sistema regenerativo para el sincrociclotrón de Buenos Aires, tarea que les parecía imposible.

Por primera vez desde su armado final, abrieron el tanque de vacío, retiraron el sistema de aceleración por radiofrecuencia e instalaron un fluxímetro magnético "hecho en casa" para medir el campo radial y azimutal del imán, a fin de luego diseñar el campo regenerativo extractor.

Durante ese período dejaron "enfriar" el imán y se instalaron dentro del entrehierro. Elaboraron el diseño del regenerador, el canal magnético y el canal electrostático, siendo todo el sistema construido en los Talleres Especializados de la CNEA. Se utilizaron técnicas de altas tensiones, de óptica iónica y de diseño.

Es así que en 1957, a poco más de un año de encarar la posibilidad de extraer el haz del sincrociclotrón, se obtuvo evidencia de un haz externo de deuterones al final del canal magnético.

Este evento marcó una nueva e importante discontinuidad en la carrera profesional de los integrantes del Laboratorio y nuevos campos de investigación estuvieron a su alcance.

Se rediseñó el canal magnético para prescindir del canal electrostático y fueron construidos para el estudio de reacciones nucleares, un sistema de transporte del haz y una cámara de dispersión.

Como consecuencia de ello, los investigadores se lanzaron a obtener resultados experimentales con deuterones de 27 MeV, cubriendo una zona de energías

hasta ese entonces poco exploradas.

Paralelamente, biólogos y radioquímicos compartieron el uso de las instalaciones con el grupo de investigadores del laboratorio.

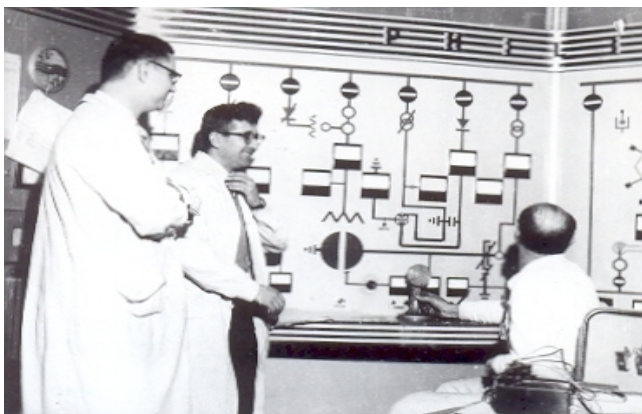
A partir de 1965 se decidió mejorar las características del sistema extractor aprovechando las experiencias de Philips obtenidas con aceleradores similares. Se mejoraron las instalaciones para el uso del haz externo, el sistema de detección de partículas nucleares, el blindaje de la "cueva" (recinto blanco externo) y el área de montaje.

Esta nueva modificación permitió al laboratorio disponer de un haz adicional de partículas alfa de energía doble (56 MeV) posibilitando nuevas líneas de investigación.

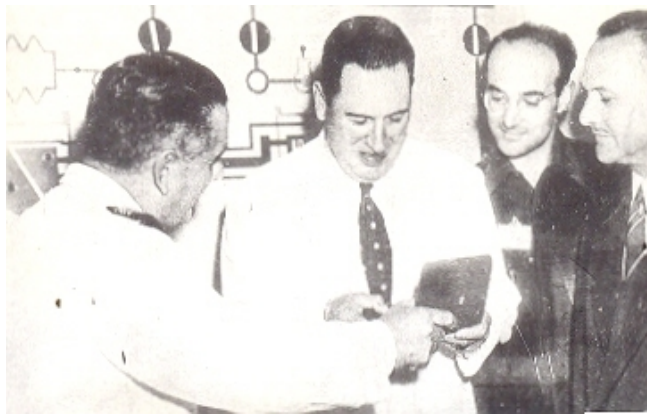
Comienza entonces la incorporación de físicos teóricos, lo que constituyó una importante contribución al desarrollo del Laboratorio y, por primera vez en el país, se cuenta con un equipo de investigación en Física Nuclear dotado de infraestructura técnica y estructura científica adecuada para desarrollarse a nivel internacional.

Será prácticamente imposible reflejar los logros científicos obtenidos con el sincrociclotrón de Buenos Aires, entre los mismos podríamos señalar los 22 radionucleídos descubiertos y en 1963 el hallazgo de la partícula diprotón, tras cuya pista varios grupos de científicos en el mundo se encontraban investigando, entre otros el Laboratorio de Los Álamos en EE.UU. y el Laboratorio Kuzchatov en la Unión Soviética.

En esa época de transición y de trabajo en conjunto de profesionales y técnicos, hay que destacar la visión, capacidad, dinamismo y liderazgo de su conductor: el Dr. Santos Mayo.



Tablero del sincrociclotrón



Visita del Presidente Perón al sincrociclotrón

Relevamiento de capital intelectual de la institución

María Paula López - Subgerencia de Capital Intelectual - Gerencia de Planificación, Coordinación y Control – Comisión Nacional de Energía Atómica

A partir de la elaboración del Plan Estratégico 2010-2019 de la CNEA, se planteó la necesidad de incluir un capítulo dedicado al capital intelectual con el objeto de realizar un balance de los recursos intelectuales existentes y necesarios, analizar si se cuenta con los recursos requeridos o si faltan y en qué temas, y conocer la situación actual en términos de capital intelectual.

As from the development of CNEA Strategic Plan 2010-2019, the need arose to include a chapter devoted to the intellectual capital in order to make a balance of intellectual resources which are both current and needed to, analyze if it has the resources required or if there is a lack in that item, and, finally, get to know the current situation in terms of intellectual capital.

Introducción

De los múltiples abordajes que existen en relación al concepto de capital intelectual, se ha considerado la definición que identifica tres ámbitos en donde residirían los activos intangibles relevantes para la generación de valor para una institución: en las personas, en los sistemas y procesos organizativos, y en las relaciones de la institución con su entorno. Los activos localizados en cada uno de dichos ámbitos generarían lo que se ha dado en denominar: capital humano, capital organizacional o estructural y capital relacional, respectivamente.

Bajo este marco, el primer paso fue enfocarse en el análisis en el ámbito del capital humano, constituido por los conocimientos (tácitos y explícitos), habilidades, actitudes, destrezas y talento de las personas.

En los últimos años se ha dado en la CNEA un recambio de personal a partir de retiros jubilatorios y el ingreso de jóvenes reemplazos. El egreso de una generación que durante más de tres décadas participó de desarrollos originales del sector nuclear motiva la necesidad de contar con métodos de transferencia y preservación de conocimientos clave. En la organización se han ido implementando algunas prácticas destinadas a identificar, distribuir y utilizar los conocimientos del personal más experimentado, aunque no se ha alcanzado aun una estrategia de aplicación integrada y sistemática.

Ocuparse y cuidar el capital humano requiere en primer lugar realizar un diagnóstico acotado y preciso, desde un punto de vista cuantitativo y cualitativo de la población actual, para luego poder abordar de forma más completa la preservación de destrezas y capacidades críticas.

Con este fin en cada área temática del Plan Estratégico se recopilaron datos demográficos del personal, como la edad, el nivel de educación, la forma de contratación y el tiempo estimado de jubilación. Al mismo tiempo se encuestó el nivel del puesto y función, especialización y riesgo de pérdida de conocimientos

considerados críticos para el cumplimiento de los objetivos.

El proceso que se siguió incluyó, en cada área temática, una presentación de los objetivos y metodología para el análisis de capital intelectual, una etapa posterior en la que cada área reunió la información que fue concentrada por la Subgerencia de Capital Intelectual perteneciente a la Gerencia de Planificación, Coordinación y Control; y finalmente una exposición de las conclusiones preliminares.

Como resultado del relevamiento realizado durante 2010 se recabaron datos de todo el personal perteneciente a las 25 áreas temáticas del Plan Estratégico.

Resultados globales

Se presentan a continuación algunas de las conclusiones globales referidas a la edad, la forma de contratación y el nivel de formación de la población.

1. Distribución por edades

Agrupando a la población en bandas de edad (ver figura 1), surge una pirámide poblacional en la que el 36% posee entre 20 y 34 años, 26% tiene entre 35 y 49 años, 32% está en el rango de 50 a 64 y 6% tiene más de 65. Se destaca aquí que un 25% estará en condiciones de retirarse en los próximos 10 años.

La alta edad promedio del plantel constituye una amenaza de pérdida de conocimientos y experiencia que llevaron años adquirir y hace necesaria la planificación de retiros e ingresos, ajustándola a las demandas de los proyectos y a su evolución y posibles cambios en el tiempo.

La debilidad numérica de una generación intermedia dificulta la generación de cuadros de reemplazo y determina la escasez de perfiles para ocupar puestos que requieren liderazgo gerencial en cada función.

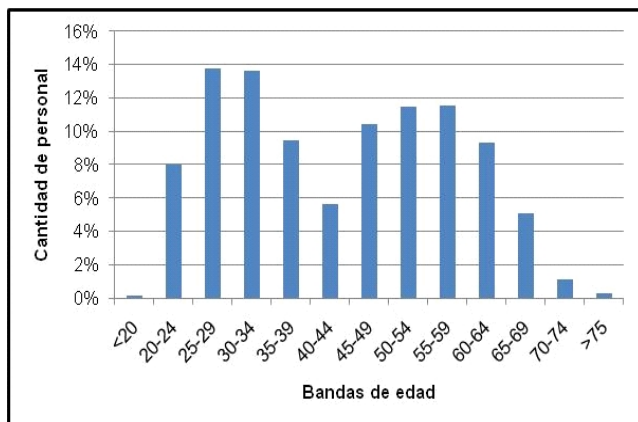


Fig.1 Distribución en bandas de edad

Un dato clave es el ingreso que se registra en los últimos años de jóvenes de entre 20 y 35 años que constituyen más del 35% del plantel. Esto representa un recambio generacional y un desafío para la organización en la medida en que se requiere contar con estrategias adecuadas de intercambio e integración que posibiliten la transmisión de conocimientos entre generaciones.

En este sentido, corresponde acentuar el lugar que ocupan los profesionales y técnicos "senior" cuya experiencia los coloca en una posición muy relevante al momento de encarar procesos de capacitación y transferencia de conocimientos.

2. Distribución por nivel de educación

Relevado el nivel de formación resulta que el 18% realizó estudios de posgrado, 37% posee formación universitaria, 16% cuenta con formación técnica, 4% tiene estudios terciarios, 17% estudios secundarios y 8% formación inicial. Del total de profesionales, los porcentajes mayoritarios corresponden a graduados en ingeniería (28%), física (27%) y química (17%). Las restantes profesiones representan porcentajes inferiores al 4% y se destacan las ciencias biológicas, la geología y las ciencias económicas con mayor número de graduados.

En este punto se observa que, independientemente de las carreras, hay menos profesionales de los que se requieren con la experiencia y aptitudes para conducir a otros profesionales.

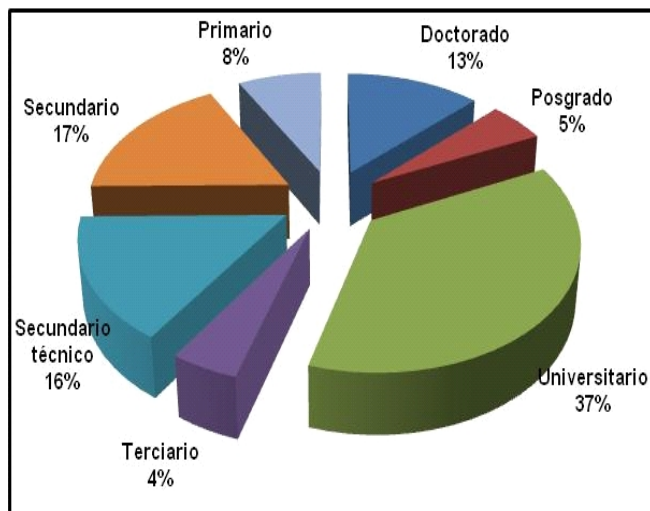


Fig. 2 Distribución por nivel de formación

3. Distribución por tipo de relación contractual

La distribución por tipo de relación contractual muestra que un 49% de la población está en planta permanente, 18% presta servicios a través de universidades, 11% está contratado a término, 8% es becario de la CNEA, 8% es becario o investigador del Consejo Nacional de Ciencia y Técnica (CONICET), 2% es becario de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y 4% es personal de otros organismos (esta categoría incluye personal de las Universidades Nacionales de Cuyo y de San Martín, de las empresas DIOXITEX S.A. e INVAP S.E. y otras instituciones que presta servicios en la CNEA).

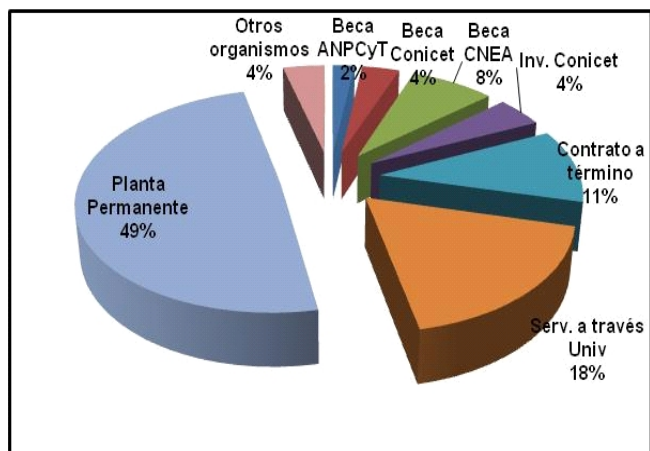


Fig. 3 Distribución por tipo de relación contractual

4. Análisis de riesgo de pérdida de conocimientos

La situación descripta, con un alto porcentaje de personal en condiciones de retirarse en los próximos años, condujo a realizar un análisis de riesgo de pérdida de conocimientos con el objeto de:

- Identificar riesgos de pérdida a futuro.
- Priorizar áreas críticas en función de conocimientos necesarios y riesgos de pérdida.
- Desarrollar un programa para retener y aprovechar conocimientos, habilidades.

Quienes lo llevaron adelante fueron los gerentes de cada área con el apoyo de la Subgerencia de Capital Intelectual, basándose en la consideración de dos factores:

- 1) Riesgo de pérdida: dado por las probabilidades de que la persona se retire y a su vez la criticidad de sus conocimientos para el cumplimiento de los objetivos.
- 2) Dificultad de reemplazo: dada por la escasez de perfiles en el mercado, especialización de conocimientos requeridos, falta de figuras de reemplazo y tiempo de formación de un reemplazo del mismo nivel.

A cada factor se le asignó un valor de acuerdo a la escala: muy alto, alto, medio, bajo.

El resultado del análisis, a partir de la ponderación individual de estos factores, arroja que un 5% de la población tiene muy alto riesgo de deserción y muy alta dificultad de reemplazo. Más del 60% de este grupo estará en condiciones de retirarse en los próximos 10 años. Con ellos se requiere encarar con urgencia actividades para que transmitan su experiencia y conocimientos de modo que los mismos pasen a ser un capital de la organización.

la complejidad máxima de trabajo que una persona puede manejar en pos de un objetivo. Es un número reducido pero que conseguiría hacer un aporte sustancial a los proyectos.

Para poder ir resolviendo la situación planteada, se necesitaría:

- Formar cuadros de reemplazo basados en una detección de quiénes tengan mayores posibilidades de ocupar puestos superiores.
- Evaluar el potencial involucrando al jefe del jefe de la especialidad en el conocimiento de la gente.
- Contar con un sistema efectivo de reconocimiento del buen desempeño.
- Planificar anticipadamente los cuadros de reemplazo basado en el análisis de egresos y el desarrollo previsible de los recursos.
- Propiciar la transferencia de conocimientos reconociendo el lugar que ocupa el personal más experimentado en la capacitación de generaciones más jóvenes.
- Involucrar a los niveles de conducción en los proyectos de transferencia y preservación de conocimientos.
- Introducir herramientas que permitan captar y transmitir destrezas y conocimientos cuya pérdida se considera de más alto riesgo. Relevado el nivel de formación resulta que el 18% realizó estudios de posgrado, 37% posee formación universitaria, 16% cuenta con formación técnica, 4% tiene estudios terciarios, 17% estudios secundarios y 8% formación inicial.

Trabajo presentado en la XXXVII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 22 al 26 de noviembre de 2010

5. Diagnóstico

- Planteles con alta edad promedio.
- 25% en condiciones de retirarse en los próximos 10 años
- Planteles intermedios escasos para cubrir necesidades que surgen del Plan Estratégico.
- Alrededor de 170 personas cuya posible deserción implicaría un riesgo muy alto de pérdida de conocimientos críticos.
- Necesidad de contar con sistemas organizacionales que faciliten la preservación y transferencia de conocimientos y promuevan el intercambio entre personal experimentado y jóvenes generaciones.
- Núcleo importante de gente joven menor a 35 años, entre los cuales podría haber un porcentaje con alto potencial, entendido como

CNEA AL DÍA

NOTICIAS DE LA
COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA

(1° de enero a 30 de junio de 2011)

Innovar premia a la CNEA

La CNEA fue distinguida en el Concurso Innovar, organizado anualmente por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación, en la categoría "Vinculación y Transferencia de Tecnología", tras la evaluación de la labor de las personas e instituciones que han favorecido la interacción público-privada a lo largo del proceso de innovación tecnológica.

La CNEA participó presentando, entre otros, los proyectos de asistencia técnica en la construcción de la Central Atucha II y el desarrollo de paneles solares para misiones satelitales.

Este reconocimiento reafirma el compromiso de la Institución con el establecimiento de puentes entre las actividades científico-tecnológicas y el desarrollo social y productivo nacional.

La CNEA diseña elementos combustibles para reactores tipo PWR

La CNEA alcanzó un hito histórico en materia nuclear al finalizar el diseño del primer elemento combustible para reactores tipo PWR (a uranio enriquecido moderado con agua liviana), innovación que constituye un paso muy importante en la concreción del proyecto del primer reactor íntegramente diseñado en el país, conocido como CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares).

Así, la Argentina se posiciona junto a los Estados Unidos, Francia, España, Rusia, Alemania, Corea del Sur y Japón, únicos países capaces de diseñar, desarrollar y fabricar elementos combustibles para un reactor de potencia de este tipo.

El elemento combustibles referido será utilizado en el reactor CAREM, cuyo prototipo se encuentra en construcción en Lima, provincia de Buenos Aires. Hasta el momento, la Argentina sólo había diseñado elementos combustibles para reactores de investigación y para reactores de potencia tipo HWR (a uranio natural moderado con agua pesada), por lo que el logro alcanzado fortalece el protagonismo del país en el campo de la tecnología nuclear de punta.

El diseño y la ingeniería de este combustible fueron realizados por el grupo Diseño de Elementos Combustibles del Centro Atómico Bariloche. El núcleo del reactor CAREM presenta un diseño innovador que ya se patentó internacionalmente.

Seminario Internacional sobre Reactores Rápidos Refrigerados con Sodio

Organizado por la CNEA con el patrocinio del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), entre el 21 y el 25 de febrero se llevó a cabo en el Centro Atómico Bariloche el "IAEA Workshop/Seminar on Sodium Fast Reactor Science and Technology", cuyo objetivo fue introducir a investigadores, ingenieros y empresas del área nuclear en la ciencia y tecnología asociadas con los reactores rápidos refrigerados con sodio (SFR).

Unos 100 profesionales de la CNEA y de empresas del sector nuclear y estudiantes del Instituto Balseiro participaron en este seminario, que estuvo a cargo de 14 expertos internacionales destacados en este campo, provenientes de la Argentina, Brasil, India, Francia, Alemania, Rusia, Corea y Japón.

Los SFR constituyen una de las seis opciones internacionalmente seleccionadas para reactores de cuarta generación (G-IV) y este seminario permitió establecer contacto con algunos de los temas relevantes de esta tecnología, tales como: análisis funcional y arquitectura de SFRs, refrigerantes, diseño neutrónico del núcleo, diseño termohidráulico y termomecánico, combustibles (tipos, fabricación, reprocesamiento), materiales, sistemas principales y aspectos de la operación y mantenimiento, entre otros.

Acuerdos nucleares con Italia

Entre el 30 de marzo y el 1° de abril se llevó a cabo en la Ciudad de Buenos Aires la reunión de la Comisión Mixta para la Cooperación Bilateral entre la República Argentina y la República Italiana. En el marco de esa reunión la CNEA firmó sendos acuerdos de cooperación con el Consiglio Nazionale per la Ricerche (CNR) y la Universidad de Pisa. El acuerdo con el CNR prevé la cooperación en las áreas de nanociencia, micro y nanotecnología, astropartículas, física, medicina, neurociencias, materiales avanzados y aceleradores. El con la Universidad de Pisa se orienta principalmente a fortalecer la cooperación bilateral en la investigación, desarrollo y capacitación en las áreas de los reactores de pequeña y mediana potencia y del combustible nuclear.

Adicionalmente, la CNEA y el Istituto di Struttura della Materia del CNR acordaron la creación del Laboratorio Internacional Asociado de Nanomagnetismo (LIANAM), conformado por el Laboratorio de Resonancias Magnéticas de la CNEA y el citado Instituto, laboratorios que son reconocidos internacionalmente por la excelencia de su investigación sobre nanoestructuras magnéticas. El LIANAM se dedicará al estudio de las propiedades fundamentales de los materiales magnéticos nanoestructurados de interés tecnológico en áreas estratégicas tales como la nanoelectrónica, sensores magnéticos y almacenamiento de información. La integración de la experiencia y la disponibilidad de instalaciones complementarias permitirán el estudio de las propiedades magnéticas y el magneto-transporte de nuevos materiales utilizando una amplia gama de metodologías y técnicas.

Incorporación de nuevas instalaciones en el Centro Atómico Ezeiza

En el presente semestre se produjo la incorporación de importantes nuevas instalaciones en el Centro Atómico Ezeiza que comprenden:

- Nuevas oficinas y laboratorios para el Ciclotrón de Producción, surgidos como respuesta a la necesidad de producción de diversos radioisótopos utilizados en biología y medicina nuclear.
- El taller "caliente" (ya licenciado por la Autoridad Regulatoria Nuclear) en donde se torneara el uranio empobrecido para los primeros bultos de transporte de molibdeno-99, diseñados y fabricados íntegramente en la Argentina para el transporte de los radioisótopos producidos por la CNEA, que permiten el transporte seguro de sustancias radioactivas líquidas y sólidas.
- El nuevo sistema de transporte de la Planta de Irradiación Semi Industrial, instalación multipropósito que brinda servicios de procesamiento con radiaciones ionizantes de productos y materias primas en escala industrial y pre-industrial, el que permitirá brindar mayor eficiencia al servicio de irradiación de productos de uso médico, prótesis, productos odontológicos, material de laboratorio, insumos para bioterios, material apícola, alimentos para mascotas, productos farmacéuticos, cosméticos y envases, entre otros.

Planetario para personas con discapacidad

El 10 de mayo se realizó la presentación de un Planetario para Personas con Discapacidad desarrollado en las instalaciones de la Regional Cuyo de la CNEA por el Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas de Mendoza (ITeDA).

Se trata de un planetario único en su especie, ya que permite conocer las constelaciones a través de varios sentidos, además de la visión. El planetario utiliza tecnología LED, tanto para la representación de las estrellas como para la ambientación y la iluminación general. Esto se complementa con un complejo equipo de sonido para hipoacúsicos, aromatizadores y equipos de control de temperatura para simular las condiciones del ambiente nocturno, ideal para contemplar un cielo estrellado.

Para la elaboración y realización de este Proyecto, el ITeDA contó con el aporte de docentes de la Universidad Nacional de Cuyo, de especialistas en educación y de un grupo de personas con discapacidad.

Este Planetario es un logro del ITeDA, creado en noviembre de 2010 por la CNEA, el Consejo Nacional de Ciencia y Técnica (Conicet) y la Universidad Nacional de San Martín, que marcó un hito en la articulación de la investigación y tecnología en la Argentina, demostrando una voluntad de conducción conjunta, tanto de investigaciones científicas como de generación de nuevas tecnologías.

La CNEA podrá comercializar sus radiofármacos

La Administración Nacional de Alimentos, Medicamentos y Tecnología Médica (ANMAT) habilitó como "Elaborador y Fraccionador de Preparaciones Radiofarmacéuticas in vivo" a la Planta de Producción de Radioisótopos y al Ciclotrón de Producción que la CNEA tiene en el Centro Atómico Ezeiza.

El proceso para la obtención de la habilitación – que permite al organismo comercializar los radioisótopos en forma directa o a través de terceros - implicó la modificación de condiciones edilicias, celdas y equipamiento y la capacitación del personal para cumplir con las normas de fabricación y control, un requerimiento indispensable de la ANMAT para producir radioisótopos y radiofármacos en el país.

Convenio con la Fundación Egidio Feruglio

La CNEA selló un acuerdo con esa Organización No Gubernamental chubutense para la realización en el yacimiento Cerro Solo de un estudio paleontológico cuyo objetivo principal es establecer la existencia de afloramientos portadores de materiales fósiles, a fin de informar a la Dirección de Investigación de la Secretaría de Cultura de la Provincia del Chubut, en el marco de la Ley Provincial sobre las Ruinas y Yacimientos Arqueológicos, Antropológicos y Paleontológicos. El informe que se realice con los datos surgidos de la evaluación de los hallazgos se utilizará para la constitución de la Línea de Base Ambiental y la Evaluación General de Impacto Ambiental.

El yacimiento Cerro Solo se encuentra ubicado en el centro de la Provincia del Chubut, sobre la vertiente oriental de la Sierra de Pichiñán, a 420 km de la ciudad de Trelew. Cuando se concluyan las tareas de exploración, este yacimiento estará en condiciones de producir cerca de 10.000 toneladas de uranio que - procesado y "quemado" en forma de elementos combustibles en las centrales nucleares – proveería la energía eléctrica equivalente a la que demandaría una ciudad de 1 millón de habitantes durante 300 años.

Licitación internacional para obras en Malargüe

En el marco del Programa de Remediación Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU), la CNEA efectuó el llamado a la Licitación Pública Internacional N° 1/2011 para la terminación de las obras de remediación ambiental en el ex Complejo Minero Fabril Malargüe, provincia de Mendoza. Las tareas deberán ejecutarse en un plazo estimado en 3 años y permitirán el acondicionamiento de las colas de mineral.

Los fondos para financiar la “Gestión de las Colas de Mineral y Rehabilitación del Área del Sitio Malargüe”, provienen de un préstamo recibido por la CNEA del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial) para remediar ambientalmente aquellos lugares donde se desarrollaron actividades relacionadas con la minería del uranio.

En Malargüe se llevaron a cabo actividades de procesamiento de minerales de uranio entre 1954 y 1986. La producción total fue de 752 t de U a partir del mineral de las minas Huemul y Sierra Pintada, lo que generó 700.000 t de colas de mineral ubicadas dentro del mismo predio.

El proyecto de ingeniería de gestión de los pasivos ambientales contempla su encapsulamiento y cuenta con la aprobación del gobierno de la provincia de Mendoza y de la Autoridad Regulatoria Nuclear. Si bien los depósitos de las colas de la minería del uranio se encuentran en la actualidad controlados, en el largo plazo requieren distintas acciones de remediación para asegurar la protección de las personas y el ambiente.

CNEA en el XVIII Congreso Geológico Argentino

En mayo, la CNEA participó en el XVIII Congreso Geológico Argentino celebrado en la Ciudad de Neuquén, al que asistieron más de 1.500 participantes entre profesionales, técnicos y estudiantes de geología de diversos países.

La delegación de la CNEA, encabezada por el Gerente de Exploración, Geólogo Roberto Bianchi, hizo una intervención en el simposio “Exploración de Uranio en la Argentina” y difundió en un “stand”, las diversas aplicaciones de la tecnología nuclear desarrolladas por el organismo, en particular, en el área de la minería del uranio. En el referido “stand” se exhibieron “banners”, material de divulgación y 42 trabajos elaborados por personal de la nombrada Gerencia, con hincapié en el Ciclo de Combustible Nuclear. También se expusieron muestras de minerales de uranio procedentes de distintos ambientes geológicos e instrumental que se utiliza en la exploración de los minerales de interés nuclear.

Inauguración de nuevas instalaciones en el Centro Atómico Constituyentes

En el marco de la celebración del 61° aniversario de la creación de la CNEA, su Presidenta, Lic. Norma Boero, inauguró las nuevas instalaciones donde funcionarán los Laboratorios de Caracterización de Materiales, de Metalografía y de Micrografía Óptica. Además, en el Laboratorio de Nanotecnología, inauguró una nueva “Área Limpia” para un óptimo análisis de elementos electrónicos y flamantes equipamientos que permitirán producir insumos tecnológicos.

Colaboración argentino-brasileña en el diseño de reactores de investigación

La CNEA ha iniciado un nuevo proyecto consistente en el diseño, la construcción y la puesta en marcha de un reactor nuclear multipropósito (Proyecto RA-10). Este proyecto, que implica uno de los mayores esfuerzos de inversión en ciencia y técnica del país, permitirá expandir las capacidades nacionales en cuanto a la producción de radioisótopos para atender a vitales necesidades sociales y significará un enorme aporte al desarrollo de las diferentes disciplinas científicas y tecnológicas, ya que permitirá disponer de una de las más poderosas herramientas experimentales de la actualidad. El RA-10 será diseñado en forma conjunta entre la CNEA y la Comissão Nacional de Energía Nuclear del Brasil quienes construirán sendos reactores de investigación, uno en cada país, del tipo multipropósito, destinados a los mismos objetivos generales de producción de radioisótopos, de ensayos de irradiación de combustible y materiales, y de investigación con haces de neutrones.

Reconocimiento al Dr. Mario Pisarev

El Dr. Mario Alberto Pisarev, distinguido investigador de la CNEA, ha sido galardonado con el Premio al Maestro de la Endocrinología 2011 en virtud de su trayectoria en lo académico, personal y asistencial, otorgado por la Federación Argentina de Sociedades de Endocrinología. Esta distinción no hace más que reconocer sus cualidades humanas, profesionales y su gran contribución en la producción de nuevos conocimientos para nuestro país.

Recursos minerales para la generación nucleoelectrica

El 1 y 2 de junio se celebró en el centro Atómico Constituyentes, organizado en forma conjunta por la CNEA, el Organismo Internacional de Energía Atómica y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), el taller "Perspectivas de los Recursos de Torio y Uranio para la Generación Nucleoelectrica", que contó con la presencia de expertos internacionales de la India, Francia, Australia, Brasil, Chile y la Argentina, entre cuyos objetivos se destacó el análisis y discusión de diferentes ventajas del uso y adopción de reactores con combustible a base de torio en la Región Iberoamericana y el abordaje de asuntos referentes a la "generación nuclear en base a uranio, incluyendo los aspectos geológicos, mineros y ambientales del ciclo productivo" de los dos minerales en cuestión.

Tecnología de la CNEA en el espacio

El satélite SAC-D/Aquarius, diseñado y construido por la empresa INVAP S.E. y exitosamente lanzado al espacio el 9 de junio en los Estados Unidos, cuenta con paneles solares desarrollados y fabricados por el Departamento de Energía Solar de la CNEA, diseñados específicamente para satisfacer los requerimientos de energía eléctrica de todo el sistema.

Estos paneles tienen la propiedad de transformar la radiación solar en electricidad, soportando extremas condiciones ambientales. Para eso, los investigadores y científicos volcaron toda la experiencia acumulada en la CNEA durante más de tres décadas sobre aprovechamiento de la energía solar.

La construcción de los paneles solares comenzó en 2001 con la etapa de montaje de laboratorios especialmente acondicionados en el Centro Atómico Constituyentes y la fabricación del instrumental necesario, superándose todas las exigencias de calidad requeridas por la industria espacial.

La puesta en órbita del satélite SAC-D marca un hito trascendental para la ciencia y el conocimiento argentinos. La CNEA ha sido parte fundamental de este logro.

1^{er} Workshop Argentino sobre Haces de Neutrones para Investigación

Los días 13 y 14 de junio se desarrolló en el auditorio del Centro Atómico Constituyentes, el 1er *Workshop* Argentino sobre Haces de Neutrones para Investigación, organizado por la CNEA, con la presencia de más de 30 investigadores interesados en varias técnicas de dispersión de neutrones que podrían implementarse a partir de la construcción del nuevo reactor multipropósito argentino, el RA-10.

El encuentro comenzó con una exposición sobre las características fundamentales y el estado de avance del Proyecto RA-10 y continuó con una serie de exposiciones breves de investigadores referidas al uso de técnicas neutrónicas en diferentes disciplinas: biología estructural, ciencia de materiales, química, física y cristalografía.

La segunda jornada estuvo exclusivamente dedicada a la discusión y elaboración de propuestas para abordar un nuevo emprendimiento de carácter nacional, multi-institucional e interdisciplinario: la creación de un Laboratorio de Haces de Neutrones, que cuente con varios instrumentos y ofrezca a toda la comunidad científica, tecnológica e industrial, una variedad de técnicas neutrónicas de alta calidad e impacto, actualmente inexistentes en Latinoamérica.

El *Workshop* estuvo marcado por un espíritu de intercambio de ideas y mucho entusiasmo por las características únicas que posee este proyecto, transversal a toda nuestra comunidad de científicos y tecnólogos. Como cierre del evento, se redactó un documento con las principales ideas discutidas y se conformó un Comité de Gestión con un grupo de investigadores de varias instituciones, disciplinas y puntos geográficos del país que tendrá a cargo la elaboración del proyecto de Laboratorio Nacional de Haces de Neutrones, nucleando las propuestas e ideas volcadas por toda la comunidad científica.

La CNEA en la Conferencia internacional sobre seguridad nuclear

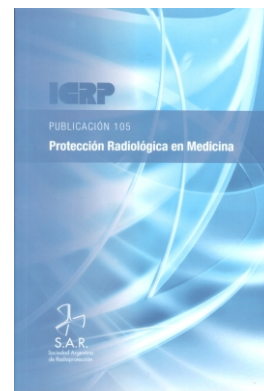
En la segunda mitad de junio se celebró en Viena, Austria, convocada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la "Conferencia Ministerial sobre Seguridad Nuclear, que tuvo como objetivo direccionar el proceso de estudio de las causas y consecuencias del accidente ocurrido en la Central Nuclear Fukushima Daiichi, en Japón, a efectos de extraer conclusiones y las lecciones aprendidas para ser aplicadas por los Estados Miembros del OIEA con el fin de fortalecer la seguridad nuclear, la preparación ante emergencias y la protección radiológica de las personas y el ambiente.

Asistieron a la misma Ministros de esos Estados Miembros, quienes presentaron las posiciones de sus respectivos países y, complementariamente, cada país envió delegaciones técnicas que analizaron en sesiones de trabajo diversos informes y propuestas relacionados con las evaluaciones preliminares del accidente. Especialistas de la CNEA, encabezados por su Presidenta, Lic. Norma Boero, integraron la Delegación Argentina ante la Conferencia.

A su finalización, se aprobó una Declaración Ministerial de los Estados Miembros del OIEA, la cual destacó los esfuerzos de la comunidad internacional por mejorar los conocimientos sobre seguridad nuclear y protección radiológica y reforzar las normas internacionales sobre seguridad nuclear, preparación y respuesta para casos de emergencia y protección radiológica de las personas y el medio ambiente y la necesidad de extraer enseñanzas del accidente de la Central Nuclear Fukushima Daiichi, y puso de relieve la importancia de adoptar las medidas que garanticen la aplicación de los niveles más elevados y estrictos de seguridad nuclear, sobre la base de las normas de seguridad del OIEA, que deberán ser revisadas constantemente, fortalecidas y aplicadas de la manera más amplia y eficaz posible, comprometiendo aumentar la cooperación bilateral, regional e internacional con ese fin.

Reseñas bibliográficas

Publicación ICRP N° 105 - Protección Radiológica en Medicina
Traducida al español y editada por la Sociedad
Argentina de Radioprotección (SAR)
Buenos Aires 2011
ISBN 9789-987-26798-0-4
Rústica 24x16 cm – 64 páginas



En 2007, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) realizó una revisión de sus recomendaciones básicas en materia de radioprotección y, en consonancia con ello, editó la publicación ICRP N° 105 “Protección Radiológica en Medicina”, que adapta a esas nuevas recomendaciones su anterior publicación ICRP N° 73 “Protección y Seguridad Radiológica en Medicina” de 1996.

La publicación ICRP N°105 describe en 16 puntos la adecuada aplicación de los principios fundamentales: justificación, optimización de la protección y aplicación de límites de dosis, teniendo en cuenta que:

- el principio de justificación en la protección radiológica de los pacientes difiere de la justificación de otras aplicaciones de la radiación, ya que por lo general es la misma persona quien disfruta de los beneficios y sufre los riesgos asociados con el procedimiento médico;
- también es singular la optimización de la protección al paciente, ya que la dosis que se aplica a un ser humano es intencional y el propósito del tratamiento está basado en la propiedad potencial de la radiación de matar células. Por consiguiente, la optimización consiste en reducir al mínimo la dosis a los tejidos circundantes sin comprometer la dosis predeterminada e intencionalmente letal y su efecto en el volumen blanco; y
- el principio de la limitación de la dosis no es relevante ya que la radiación ionizante utilizada en el nivel apropiado de dosis con un objetivo médico, es una herramienta esencial que causará más beneficios que daño.

La publicación ICRP N° 105 tiene en cuenta el crecimiento de la utilización de las radiaciones ionizantes en la medicina nuclear; en particular que:

- cada vez hay más personas expuestas a radiaciones ionizantes por la práctica médica que por cualquier otra actividad humana; la población mundial aumentó el 10 % y la exposición médica de pacientes aumentó el 35%.
- la exposición a la radiación en medicina involucra predominantemente a las personas que se someten a exámenes diagnósticos, a procedimientos intervencionistas y a terapia con radiación; y
- el uso de la radiación en la exposición médica de pacientes contribuye con más del 95% del total de la exposición a la radiación artificial.

La edición de este documento en idioma español configura un aporte al fortalecimiento de la protección radiológica en el área médica.

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 – Buenos Aires – Argentina - Teléfono: (54 – 11) 6326-1300 - Fax: (54 – 11) 6326-1490 - <http://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 (1429) Buenos Aires – Argentina - Teléfono: (54 – 11) 4704 - 1035/1236 - Fax: (54 – 11) 4704 - 1043 - <http://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 (8313) Neuquén – Argentina - Teléfono: (54 – 299) 440706/440411/440572 - Fax: (54 – 299) 440534 – <http://www.ensi.com.ar>

FABRICA DE ALEACIONES ESPECIALES S.A. (FAE)

FAE fue creada por Decreto N° 1088/86. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde un 32% a la CNEA y el 68% restante a la empresa CONUAR S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene por objetivo la producción, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, de vainas y semiterminados de zircaloy 4 para la fabricación de elementos combustibles para reactores de potencia y la producción de tubos de acero inoxidable y aceros especiales de alta calidad. Su dirección es Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Buenos Aires – Argentina - Teléfono: (54 – 11) 6326-1493 - Fax: (54 – 11) 6326-1496 - <http://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. Además, participa en el desarrollo y la construcción de satélites. Su dirección es Francisco Perito Moreno 1089 - C.C. 961 – (R8400AMU) San Carlos de Bariloche - Río Negro – Argentina - Teléfono: (54 – 2944) 445400 - Fax: (54 – 2944) 423051 - <http://www.invap.com.ar>

POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES S.A. (PTC)

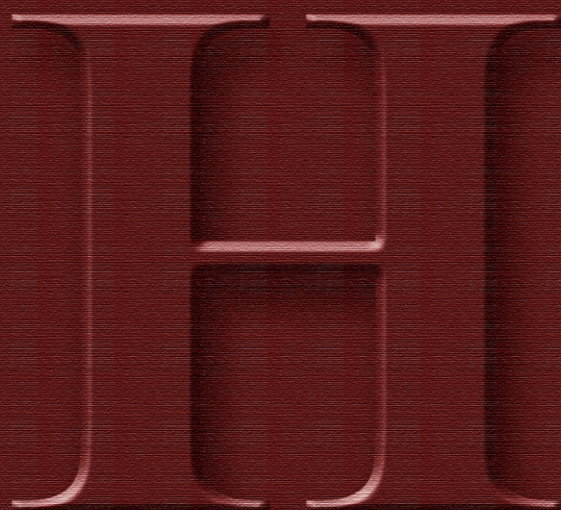
El PTC fue creado por Decreto N° 894/98 y está constituido por la asociación de instituciones de desarrollo tecnológico con capacidades distintas y complementarias (CNEA, Universidad Nacional de General San Martín, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa y Servicio Geológico Minero Argentino) radicadas en el área geográfica vecina al Centro Atómico Constituyentes, provincia de Buenos Aires. 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 – Argentina - Teléfono / fax: (54 – 11) 754 – 4070 – <http://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 – Argentina - Teléfono / fax: (54 – 11) 4566-7597 - E-mail: info@fcdn.org.ar - <http://fcdn.org.ar>

FUNDACIÓN ESCUELA DE MEDICINA NUCLEAR(FUESMEN)

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



**COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**



AV. DEL LIBERTADOR 8250
C 1429BNP - C.A. DE BUENOS AIRES
REPÚBLICA ARGENTINA
TEL: (011) 4704-1215
REVISTA@CNEA.GOV.AR
WWW.CNEA.GOV.AR