

REVISTA DE LA CNEA

UNA PUBLICACIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Año XIII - Número 51-52 - Julio - Diciembre 2013



CENTRAL NUCLEAR EMBALSE

Silos para almacenamiento en seco de combustibles nucleares gastados



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".



El Comité Editorial se complace en presentar el número 51/52 de la Revista de la CNEA, con el que completa su décimo tercer año de existencia. Como siempre, se incluyen en él artículos sobre una variada gama de temas particularmente relevantes desde el punto de vista del desarrollo de la actividad nuclear en el país.

La gestión del combustible gastado y de los residuos radiactivos de alta actividad continúa constituyendo uno de los mayores desafíos que enfrenta la industria nuclear, en particular en lo que se refiere a la aceptación por la opinión pública de la generación nuclear de energía eléctrica. Un primer artículo – escrito por una habitual colaboradora de la Revista de la CNEA especializada en el tema - trata de la relevancia del control de los efectos del envejecimiento de los componentes de los sistemas de almacenamiento interino por su interacción con el medio circundante sobre el elemento combustible gastado, a través de periodos de tiempo extendidos en el largo plazo, que requiere conocimientos de los diversos mecanismos de degradación de los materiales, de las estructuras, sistemas y componentes, y de las condiciones de exposición medioambientales durante el período establecido. El objetivo es poder prevenir, mitigar y detectar tempranamente los efectos del envejecimiento y contrarrestarlos en lo posible. Al mismo tiempo, da cuenta del panorama internacional respecto a las estrategias de emplazamiento de los almacenamientos interinos a largo plazo y de los repositorios geológicos profundos, y resalta una interesante opción.

La reactivación oportuna de la minería del uranio en el país configura un objetivo estratégico relevante del Plan Estratégico de la CNEA 2010-2019. Un segundo artículo describe la metodología aplicada para efectuar el modelamiento geológico de un sector del yacimiento de uranio Sierra Pintada mediante el soporte de un “software” minero. Para el caso particular del depósito en estudio, “Tigre I - La Terraza”, su modelamiento geológico consiste en la combinación de los modelos estructural, litológico y de mineral.

La fusión nuclear controlada constituye a futuro una de las alternativas más interesantes para la generación de energía eléctrica en gran escala. Nuestro país ha alcanzado logros muy significativos en la utilización de la fisión nuclear para la generación de energía eléctrica y no puede quedar al margen del desarrollo de la fusión nuclear que posee varias ventajas comparativas. Un último artículo presenta una propuesta para que la CNEA, como Institución encargada de la actividad nuclear en el país, pueda contar con un programa integral de actividades en fusión nuclear controlada.

Como en números anteriores se incluye también la sección “CNEA al Día”.

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

Autoridades Nacionales

Presidente de la Nación
Doctora Cristina E. Fernández de Kirchner

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

Secretario de Energía
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: Sección Producción de Contenidos
Departamento de Prensa.

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



Foto de tapa:
Silos para almacenamiento
en seco de elementos
combustibles gastados
Central Nuclear Embalse

Sumario

Editorial	3
Elemento combustible gastado: almacenamiento interino y emplazamiento de un repositorio geológico profundo desde un enfoque mundial	5
Modelamiento geológico mediante “software” minero del sector Tigre I La Terraza: Distrito Uranífero Sierra Pintada, provincia de Mendoza	21
Programa de actividades en fusión nuclear controlada	32
CNEA al día, noticias institucionales	39

Nota:

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

Elemento combustible gastado: almacenamiento interino y emplazamiento de un repositorio geológico profundo desde un enfoque mundial

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

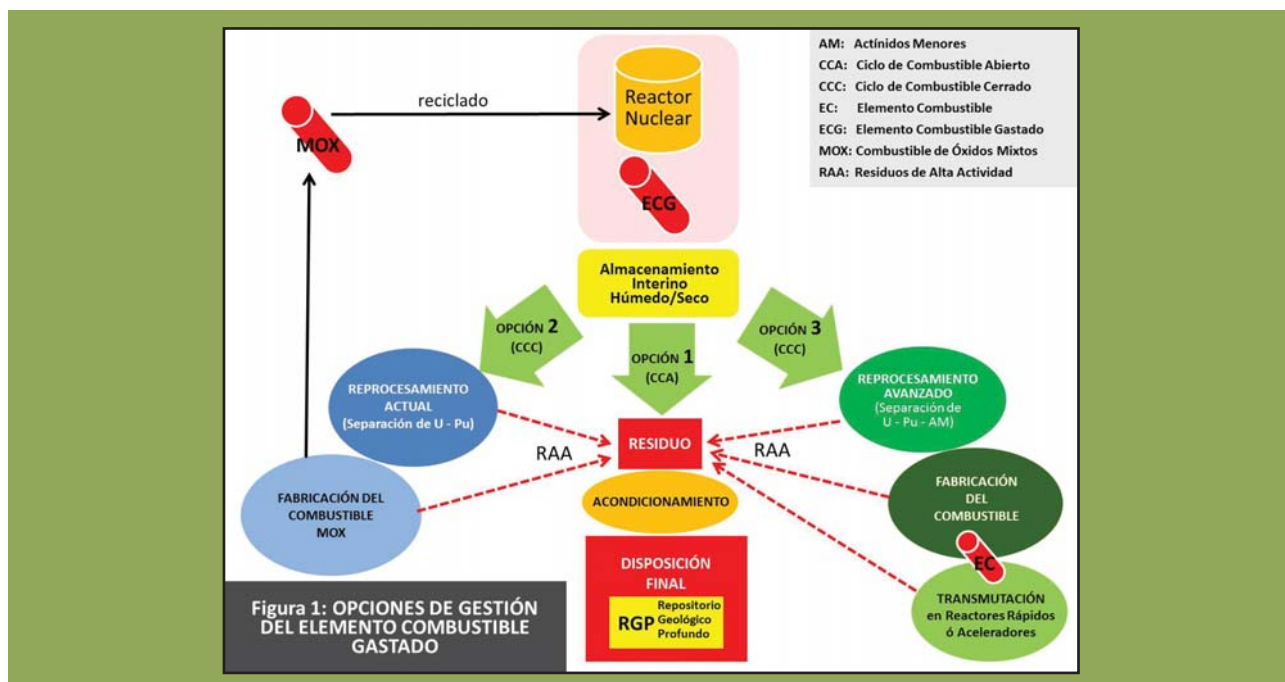
Este artículo trata la relevancia del control de los efectos de envejecimiento de los componentes de los sistemas de almacenamiento interino por su interacción con el medio circundante sobre el elemento combustible gastado, a través de periodos de tiempo extendidos en el largo plazo, que requiere conocimientos de los diversos mecanismos de degradación de los materiales, de las estructuras, sistemas y componentes y las condiciones de exposición medioambientales durante el período establecido. El objetivo es poder prevenir, mitigar y detectar tempranamente los efectos del envejecimiento y contrarrestarlos en lo posible. Por otro lado, se presenta una mirada internacional respecto a las estrategias de emplazamiento de los almacenamientos interinos a largo plazo y de los repositorios geológicos profundos y se describe una interesante opción.

Managing aging effects on dry storage systems for extended long-term storage of spent fuel requires knowledge and understanding of the various aging degradation mechanisms for materials of the structures, systems and components (SSC) and their environmental exposure conditions for the intended periods of operation. The object is to prevent, mitigate and detect aging effects on SSCs at an early stage. On the other hand, an international overview is presented on the sitting strategy of the long term interim storage facility and of the geological disposal for spent fuel and high level radioactive wastes.

Introducción

El Elemento Combustible, durante la operación del reactor, una vez que alcanza el grado máximo de quemado, se extrae del núcleo constituyendo un Elemento Combustible Gastado (ECG), el cual debe ser gestionado de manera segura. En principio, el ECG no se considera residuo, ya que es un recurso energético potencial del cual se pueden extraer materiales físi les (por reprocesamiento) para fabricar

nuevos elementos combustibles con óxidos mixtos de plutonio y uranio (MOX) a ser reciclados en los reactores térmicos (ciclo cerrado), así como emplear también en un futuro el pireprocesamiento para transmutar en un reactor rápido o en un sistema subcrítico accionado por un acelerador (ADS), los radionucleidos de período largo. Si el ECG no es reprocesado se lo gestiona como un residuo de alta actividad (ciclo abierto) (Fig.1).



De cualquier modo, el ECG debe ser almacenado en forma interina durante un cierto período de tiempo (para su enfriamiento y decaimiento), el cual puede diferir según la estrategia proyectada desde algunos años a varias décadas, teniendo en cuenta que la opción final es la disposición en un Repositorio Geológico Profundo (RGP) ya sea para el ECG sin reprocesar, para los residuos líquidos de alta actividad (RAA) provenientes de las operaciones de reprocesamiento, así como también para los residuos de baja o mediana actividad que contengan radionucleidos de periodo largo, todos adecuadamente acondicionados. De acuerdo a datos del año 2012 (Fig.2), en todo el mundo se descargaron 360.500 t HM de ECGs de centrales nucleares de potencia. Menos de la tercera parte (unas 109.800 t HM) se han reprocesado y unas 250.700 t HM están almacenadas en varias instalaciones de almacenamiento interino (Alm Int), la mayor parte en piletas. El Almacenamiento en seco es una tecnología ampliamente usada, con más de 25.000 t HM actualmente almacenados en varios países.

De acuerdo a la demanda energética actual y futura, se requiere aumentar la capacidad del Alm Int de ECGs, parte de los cuales tendrá que almacenarse durante 50 a 100 años o más antes de ser reprocesados o dispuestos definitivamente en un RGP. En el 2012, la capacidad mundial de reprocesamiento comercial,

concentrada en cuatro países (Federación Rusa, Francia, India y el Reino Unido) era de unas 4800 t HM anuales.

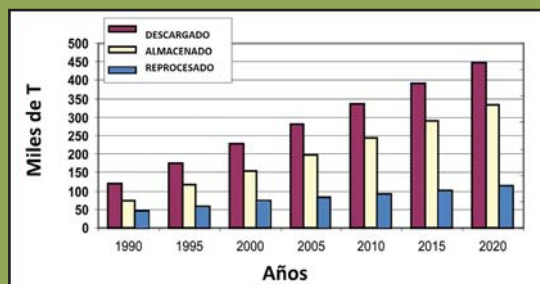


Figura 2: Elementos combustibles gastados acumulados en el mundo entre 1990 y 2020.

Hasta ahora las instalaciones de Alm Int para RAA y ECGs han sido ubicadas en superficie o a muy poca profundidad. Los ECGs se almacenan primeramente en piletas bajo agua de alta pureza (almacenamiento húmedo). El agua actúa como blindaje de la radiación y para mantener los combustibles gastados a una aceptable temperatura. Luego de un cierto tiempo de decaimiento radiactivo y de enfriamiento en piletas, algunos países han optado por la transferencia a un almacenamiento en seco (Fig.3).

TIPO	OPCIÓN	TRANSFERENCIA DEL CALOR	CONTENIMIENTO	BLINDAJE	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
HÚMEDO	pileta	agua	agua/edificio	agua	opción clásica	
SECO	contenedor metálico	conducción por las paredes	doble cierre (gas inerte)	pared metálica	doble propósito	
	contenedor de hormigón	convección de aire alrededor	revestimiento interno (gas inerte)	hormigón y acero	vertical	
	módulo de hormigón	convección de aire alrededor	sello contenedor (gas inerte)	pared de hormigón	horizontal	
	bóvedas	convección de aire alrededor	tubo (gas inerte)	pared de hormigón	varios	

Figura 3: Opciones para el almacenamiento interino.

Los RAA provenientes del reprocesamiento son solidificados por vitrificación en contenedores adecuados, extremadamente durables y resistentes a la corrosión, para luego ser transferidos a un almacenamiento interino, en seco. Los contenedores son entonces almacenados dentro de una estructura

adecuada, a menudo de hormigón, para proveer blindaje y seguridad física. Estas estructuras, se coloquen o no dentro de edificios convencionales, deben contar con un perímetro de defensa física. Pueden además, estar ubicadas a pocos metros debajo de la superficie (Figs. 4 y 5).



Figura 4: Vista aérea de los silos de la Central Nuclear Embalse.



Figura 5: NUHOMS | Casco para transporte y almacenamiento en seco de combustibles gastados.

De todos modos, como ya se dijo, el almacenamiento es interino o temporario, lo cual implica que el material debe ser transferido en un futuro a una instalación de disposición final, cualquiera sea la estrategia adoptada.

El almacenamiento a corto plazo es de hasta aproximadamente 50 años. El almacenamiento a largo plazo es más allá de los 50 años y con un

tiempo final definido, ya que éste es la base para el diseño respecto a la vida útil de la instalación: los requerimientos de empaquetado, las garantías financieras y la base de planeamiento para las siguientes instalaciones de disposición final. Se espera que el almacenamiento a largo plazo no supere los 100 años (Fig. 6).

País	Instalación	Tecnología	Material almacenado
Alemania	Ahaus Gorleben	Contenedores metálicos Contenedores metálicos	Combustible gastado Combustible gastado y vidrios
Bélgica	Dessel	Bóveda	Vidrios
EE.UU.	PFS*	Contenedores metal-hormigón	Combustible gastado
Federación Rusa	Mayak** Krasnoyarsk**	Piscina Piscina	Combustible gastado Combustible gastado
Francia	La Hague** La Hague** CASCAD	Piscina Bóveda Bóveda	Combustible gastado Vidrios Vidrios
Holanda	Habog	Bóveda	Combustible gastado y vidrios
Japón	Rokkasho	Piscina Bóveda	Combustible gastado Vidrios
Reino Unido	Sellafield** Sellafield**	Piscina Bóveda	Combustible gastado Vidrios
Suecia	CLAB	Piscina	Combustible gastado
Suiza	Zwilag	Contenedores metálicos	Combustible gastado y vidrios

* En fase de concertación. ** Incluidas en los propios complejos de reprocesado.

Figura 6: Instalaciones de almacenamiento temporal centralizado existentes en el mundo

El inventario creciente de los ECGs genera conciencia de la necesidad de desarrollar las bases técnicas así como de transmitir al público (institucional, regulatorio y político), el tema de una gestión a largo plazo. Sin resolución sobre las etapas finales de la gestión del combustible gastado, se requiere un almacenamiento extendido a muy largo plazo de 100 a 300 años. Por lo tanto un mayor conocimiento de su comportamiento es sumamente importante. Es necesario compartir y discutir la información relevante entre países, para una implementación exitosa y tender a una colaboración internacional mutuamente beneficiosa.

Por otra parte, existe un interés creciente sobre los futuros ciclos nucleares y las posibilidades de reciclar el ECG, lo cual implica un almacenamiento a muy largo plazo (AMLPL). Se han iniciado desde hace tiempo programas de investigación sobre el

comportamiento del ECG, la degradación durante el AMLP de las vainas del ECG, del hormigón y de los materiales de los contenedores, para determinar las consecuencias en la disposición final (DF) en un repositorio geológico profundo. Respecto a las piletas, se han hecho investigaciones sobre la degradación del revestimiento interior.

- El almacenamiento en piletas está asociado principalmente con la eficiencia de enfriamiento, decaimiento y blindaje. También facilita las salvaguardias, la inspección y el examen. Ha demostrado hasta ahora una performance excelente de operación desde los años 50'.
- El almacenamiento en seco tiene más de 25 años de experiencia. Las cantidades almacenadas crecen significativamente con el transcurso del tiempo.

Mecanismos potenciales de degradación durante el almacenamiento

Los mecanismos potenciales de degradación que pueden afectar la integridad de las vainas son:

- Durante el almacenamiento húmedo: la corrosión uniforme, por picadura, galvánica, microbiológica e hidruración.
- Durante el almacenamiento en seco y subsiguiente manipuleo y operaciones de transporte: la oxidación del aire, deformación o fatiga, agrietamiento, corrosión por “stress”, grietas dilatadas por hidrógeno, reorientación de hidruros, migración de hidrógeno y redistribución.
- La **reorientación de hidruros** tiene la particularidad de deteriorar las vainas dado que las mismas sufren efectivamente desafíos mecánicos adversos, resultantes de accidentes de manipuleo o de transporte. Se están realizando trabajos experimentales para un mayor conocimiento de las condiciones bajo las cuales puede ocurrir la reorientación.
- **El proceso de secado es de significativa importancia en los sistemas de almacenamiento en seco**, para prevenir la presencia de gases oxidantes y de hidrógeno de la radiolisis. Los límites de temperatura durante el secado deben ser bajos para minimizar el potencial de la reorientación de hidruros.
- En cuanto a los mecanismos que pueden afectar a las instalaciones de almacenamiento, todas las

superficies externas e interfaces de los componentes son susceptibles al ataque ambiental. Hay numerosos trabajos sobre comportamiento del hormigón reforzado, absorbedores de neutrones en los “racks” y canastas de almacenamiento para control de la criticidad, materiales de blindaje de neutrones, sellos de polímeros, juntas metálicas, aceros inoxidables y aceros al carbón.

En el Centro Atómico Bariloche se ha puesto atención a la degradación de las propiedades mecánicas de las aleaciones de circonio. La hidruración es un mecanismo posible de falla de una aleación base de Zry-4. Las vainas de combustible nuclear absorben hidrógeno generado principalmente como subproducto de la corrosión de Zr con el agua de refrigeración durante la operación del reactor. Este hidrógeno se difunde por la vaina debido a los gradientes de temperatura y cuando alcanza su límite de solubilidad precipita en forma de hidruros de circonio, los cuales pueden fragilizar las vainas y acortar su vida útil en determinadas condiciones de trabajo.

Tabla Efectos de Envejecimiento y Mecanismos, Yung Y. LIU (Argonne NL) Chicago 2012.)

La tabla comprende efectos de envejecimiento en estructuras de hormigón, de acero, acero reforzado, misceláneos y sus posibles mecanismos de envejecimiento) (Fig. 7).

Se debe diseñar un Programa de Control del Envejecimiento para garantizar que los efectos de envejecimiento no resulten en una pérdida de la función deseada de dichos sistemas.

EFECTOS DE ENVEJECIMIENTO	POSIBLES MECANISMOS
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN Escalamiento, desastillamiento, grietas Aumento en porosidad, permeabilidad Expansión y agrietamiento Pérdida de resistencia Deformación Pérdida de material Agrietamiento Pérdida de Resistencia Efecto protección catódica	
Helar-Desahelar Lixiviación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Ataque químico Reacción con agregados Temperatura elevada - Irradiación Deslizamiento Corrosión - Abrasión - Cavitación Contracción-Deslizamiento-Amb.agresivo Interacción del hormigón con aluminio Corriente de protección catódica	
ACERO ESTRUCTURAL Pérdida de material Pérdida de resistencia Pérdida de tenacidad de la fractura Iniciación de la grieta y crecimiento	
Corrosión local o atmosférica Temperatura elevada Irradiación Stress, agrietamiento por corrosión	
ACERO REFORZADO Agrietamiento, pérdida de material Pérdida de resistencia	
Corrosión del acero encastrado Temperatura elevada - Irradiación	
MISCELANEAS Agrietamiento, aumento de stress Pérdida de resistencia a la fractura	
Asentamiento Envejecimiento del acero al carbón	
PARTES INTERNAS Pérdida de material Cambio de dimensión Adelgazamiento de pared Inicio de grieta y crecimiento Pérdida de la resistencia a la fractura Pérdida de precarga Desgaste	
Corrosión, ácido bórico Deslizamiento Erosión - Corrosión Stress - Corrosión Irradiación de neutrones - Fragilidad Stress - Relajación Uso	

Figura 7: Efectos de envejecimiento y mecanismos que lo producen en estructuras de hormigón, acero, acero reforzado, misceláneos.

Autor: Yung Y. Liu (Argonne NL) Chicago 2012

De todos modos, los efectos del envejecimiento sobre contenedores de hormigón y de acero “comienzan” cuando los ECGs son cargados en un contenedor en la pileta de ECGs, drenado, secado al vacío y relleno con helio antes de cerrar por soldadura o mediante pernos. La transferencia de la pileta a un “pad” (húmedo a seco) es un cambio “abrupto” del medio para el ECG y el efecto es más pronunciado durante el secado al vacío, particularmente para ECGs de alto quemado, debido a la probabilidad de la formación de hidruros radiales en las vainas y fragilizarlas. Prevenir y/o minimizar la fragilización de las vainas por los hidruros radiales durante el secado, transferencia, y durante la etapa temprana de almacenamiento interino, mantendrá la configuración del combustible y con diferentes porcentajes de llenado, como así también procedimientos de emergencia para añadir agua a la pileta en el improbable evento de que un terremoto causara pérdidas de agua. Los resultados mostraron muy baja probabilidad de daño a la pileta estudiada.

Hasta 50 años de almacenamiento interino, **desde una perspectiva técnica**, el tiempo está de nuestro lado, no existen problemas técnicos; **desde una percepción pública**, el tiempo está en contra nuestra dado que la falta de acción crea la percepción que el elemento combustible gastado constituye un gran

problema. Cuanto más se prolonga esta situación, mayor es la sensación de que este problema es insoluble.

Evidentemente existen oportunidades y obstáculos, que debemos analizar cuidadosamente: un conjunto de actividades posibles reforzaría la confianza pública (por ejemplo el hecho de que los inventarios actuales de los ECGs en almacenamientos húmedo y seco, no hayan tenido problemas significativos) Sin embargo, hay serios obstáculos (por ejemplo, transporte de tambores con residuos radiactivos desde las centrales nucleares a otras instalaciones, el emplazamiento de instalaciones de DF, etc.) que parece que tras la búsqueda de soluciones perfectas hay una falta en la toma de decisiones.

Si la meta es encontrar la solución perfecta, es una utopía y, como consecuencia, se están dejando los problemas a las generaciones futuras, cuando nosotros nos hemos beneficiado del uso de la energía nuclear.

Dado que los tiempos de ejecución son sumamente largos, es importante establecer ya un programa integrado detallado y confiable.

Un Caso de Estudio: YUCCA MOUNTAIN (YM) (Estados Unidos) (Fig.8)



Figura 8: Proyecto YUCCA MOUNTAIN (Nevada - USA) Repositorio Geológico profundo para almacenamiento de residuos radiactivos de alta actividad.

En Junio de 2008, el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) presentó un pedido de licencia a la Comisión Reguladora Nuclear de ese

país (NRC) para la construcción del RGP en YM, Nevada, para la disposición final (DF) de ECGs y RAA. La NRC aceptó el pedido de la licencia para

su revisión formal en septiembre de ese año, lo cual significó un hito importantísimo para los programas de Gestión de Residuos Radiactivos (GRR) alrededor del mundo.

Yucca Mountain comprende 230 millas cuadradas ubicadas en Nevada, a 100 millas de las Vegas al sudeste (Figs. 9 y 10). Sus principales características son: dos grandes túneles debajo de la montaña. El túnel principal es una U con dos entradas (norte y sur) y es de 5 millas de largo y 25 pies de diámetro.

Tiene ramas de 2 millas que salen del túnel principal y cada una incluye gabinetes para albergar equipos y conducir experimentos con disponibilidad de agua, electricidad y telecomunicaciones. Aunque el DOE previno que mucha de esta infraestructura era de hace 30 años o más, sin embargo, el “lobby” antinuclear de ese país, en el año 2009, logró la suspensión del programa YM, a través del Secretario de Energía por orden del Presidente Obama.



Figura 9: Proyecto YUCCA MOUNTAIN (Nevada - USA) Máquina Excavadora



Figura 10: Proyecto YUCCA MOUNTAIN (Nevada - USA)

Un panel de expertos recomendó la constitución de “una nueva organización dedicada solamente a implementar el programa de gestión de residuos, con la autoridad y recursos para obtener éxito”. Subsecuentemente, se estableció la **“Blue Ribbon Commission” (BRC) para definir el Futuro Nuclear de América**, con el objeto de conducir una revisión comprensiva de políticas para gestionar la parte posterior (*back-end*) del ciclo de combustible nuclear y proveer recomendaciones para el desarrollo de una solución segura a largo plazo para gestionar el combustible nuclear gastado y los residuos nucleares. En algo más de 24 meses, la BRC juntó información a través de audiencias, reuniones públicas, ejecución de trabajos y comentarios formales e informales de las partes interesadas y en enero de 2012 publicó sus observaciones, en las cuales incluyó un conjunto de recomendaciones principales que condujeron a lo siguiente:

- Cambios institucionales necesarios para restablecer un programa de disposición final efectivo en los EE.UU.
- Opciones de Almacenamiento Interino tan pronto como sea posible como puente entre la situación presente y una opción de DF, particularmente para los lugares donde existen reactores de potencia que ya se han cerrado y también en aquellos en proceso de descontaminación y desmantelamiento (D&D).

Entre las tareas que la nueva organización debe llevar a cabo está el desarrollar una instalación de almacenamiento interino consolidado, empleando procedimientos basados en el consentimiento. Esto es clave para el momento de establecer acuerdos con los estados. ¿Quién tendrá la autoridad para obligar a un estado a futuros acuerdos? ¿la Legislatura? ¿el Secretario de Estado? ¿el Gobernador? **y ¿cómo proteger al estado hospedante de que la instalación de Alm Int se convierta en un lugar de disposición final?** Además, se requiere que las utilidades nucleares se comporten como accionistas (*shareholders*), no como partes interesadas (*stakeholders*), de la nueva entidad.

Una nueva organización para gestionar residuos nucleares necesita un amplio mandato, los recursos necesarios y la autoridad suficiente.

Una nueva entidad de gestión y de manejo de fondos es esencial si YM resucita o no. El Congreso debe trabajar en crear una entidad y tener fondos tan pronto como sea posible. El DOE debiera comenzar con contactarse con los estados y comunidades locales para reabrir el proceso. EE.UU. no puede adoptar

el modelo sueco, donde existe una cooperativa industrial (propietaria de las centrales nucleares); los EE.UU. tienen una industria altamente fragmentada. Complicando el tema están los acuerdos establecidos entre las utilidades y el DOE.

Por otro lado, después del accidente de Fukushima, la comunidad entera se preocupó no solo por el combustible en el núcleo de los reactores sino también por los ECGs almacenados en las piletas, debido a la posible pérdida repentina del agua de enfriamiento. Particularmente esta preocupación ya se había generado después de los atentados del 11-09-2001.

El “lobby” antinuclear norteamericano, después del cierre del repositorio geológico de Yucca Mountain y como consecuencia del aumento del inventario de ECGs en los reactores, ha estado presionando para la remoción de aquellos que han estado más de 5 años en las piletas, en todas las plantas nucleares del país, para transferirlos a Alm Int en seco. Se ha establecido hace poco un programa en USA respecto a este tema, relacionado a la seguridad del almacenamiento prolongado de por lo menos 100 a 120 años.

Como resultado, el futuro del repositorio de YM es aún desconocido debido a sus litigios y a la oposición de la mayoría del Senado (NV). Se han propuesto unos 30 usos potenciales del sitio, relacionados a 5 categorías: nuclear, defensa y seguridad física, información tecnológica, desarrollos de energías renovables e investigación científica. *No ha habido un amplio consenso entre los expertos consultados* respecto a los beneficios y desafíos de estas propuestas alternativas. Debe tenerse en cuenta la retirada del DOE respecto a los procedimientos legales, a los derechos mineros, al control del lugar entre tres diferentes Agencias federales, a las actividades de seguridad física nacional, al cumplimiento por el usuario con las regulaciones federales aplicables y a las regulaciones del estado.

Finalmente aún no hay recomendaciones. En este momento, se logró, luego de diversas discusiones, que la NRC continúe con el estudio sobre la evaluación de seguridad de YM para concretar su construcción y operación.

La BRC, como ya ha mencionado, tiene entre sus tareas desarrollar una instalación de almacenamiento interino consolidado, empleando procedimientos basados en el consentimiento. La BRC reafirma que el Alm Int extendido preserva opciones y mejora la flexibilidad, dado que permitiría emplear tecnologías para reprocesar y reciclar si el cierre del Ciclo de Combustible Nuclear (CCN) se vuelve ventajoso en el futuro. El Alm Int a largo plazo preserva la opción de ir en una u otra dirección.

El almacenamiento consolidado, además: **permitiría la remoción de ECGs en los sitios de reactores cerrados.** Esto facilitaría que los lugares de los primeros reactores puedan ser reclamados o utilizados para otros usos deseables o económicamente productivos. Además, la mayor parte de estos reactores cerrados ya no tienen la capacidad de remover ECGs del Alm en contenedores para su inspección;

proveería soluciones para responder a las lecciones aprendidas de Fukushima. El acceso al Alm Int consolidado sería muy útil si, por ejemplo, la decisión fuese reducir el inventario de ECGs en las piletas de los reactores, lo cual puede simplificar la gestión de una situación de post-accidente en un reactor por remoción de una importante fuente potencial de riesgo;

apoyaría el programa de repositorio. La experiencia ganada por emplazamiento, ensayos, licenciamiento y operación en una instalación de almacenamiento consolidado y el monitoreo a largo plazo, inspecciones periódicas de los sistemas de Alm Int en seco, desarrollo de instrumentación, el trabajo sobre métodos mejorados de almacenamiento, beneficiaría el desarrollo y operación de los futuros repositorios y **proveería opciones para un incremento de flexibilidad y eficiencia en el almacenamiento y funciones futuras de manipuleo.** Por, ejemplo, un proceso planeado, deliberado y confiable para el movimiento de ECGs de los lugares de reactores ya cerrados a una instalación central, que puede iniciarse antes de que cualquier dificultad se genere y donde los problemas pueden ser negociados con más facilidad si el ECG actualmente en Alm en seco requiere reempaquetamiento previo a la DF, tal trabajo pueda ser hecho en un lugar centralizado.

Después del acto terrorista del 11/09, se desarrolló un concepto robustecido llamado HOSS, para mejorar la seguridad radiológica y física a los sistemas de Alm Int en seco. El concepto HOSS comprende hormigones reforzados y sobreestructuras en los sistemas de Alm Int en seco convencionales, para añadir mayor resistencia en caso de ataques terroristas. Este concepto se está considerando como parte de las normas de la NRC, que actualmente está actualizando los requerimientos de la seguridad física. Las utilidades y la industria nuclear generalmente no han apoyado el concepto HOSS, sosteniendo que los sistemas actuales de respuesta pasiva y activa y los diseños de tecnología robusta aseguran que las instalaciones de Alm Int en seco en contenedores responden a los requerimientos de la seguridad radiológica y física.

En resumen, en el caso de YM se observó que para desarrollar un RGP se debe tener una política clara, con nuevas legislaciones, y tener en cuenta la opinión de las diferentes partes interesadas. Se creó un cuerpo de alto nivel para discutir los asuntos involucrados y hacer recomendaciones. Se encargó al grupo promover reuniones con presencia pública y solicitando comentarios sobre los documentos, para hacer las deliberaciones tan transparentes como fuese posible. Las recomendaciones que EE.UU. adoptó para el emplazamiento de un repositorio se basaron en el consentimiento.

De todos modos, con los Demócratas empujando hacia una nueva dirección y los Republicanos empujando, igualmente duros, por un viejo programa desmantelado, todo indica que cualquier movimiento hacia la instalación de un Almacenamiento consolidado para ECGs permanecerá en suspenso al menos hasta las próximas elecciones.

Emplazamiento del RGP

Las estrategias de selección del sitio para el RGP necesariamente involucran el paso del candidato a través de dos diferentes filtros. Por un lado, requerimientos técnicos detallados y cuantitativos que deben cumplirse. Por otro lado, emplazamientos que podrían ser descalificados debido a consideraciones tales como falta de aceptación por parte de la sociedad, alta densidad de población o dificultades en el acceso, etc.

De acuerdo con diversos expertos, desde un enfoque mundial se pueden rescatar del pasado las siguientes lecciones:

Avanzando en forma persuasiva y técnicamente defendible para la seguridad de un concepto de disposición final de un país, previo a la búsqueda del consentimiento de una comunidad, parece aumentar las chances de ganar.

La continuidad y cultura institucional parecen influir en los vínculos de confianza entre los responsables de la gestión de residuos y comunidades hospedantes.

Cualquier proceso basado en el consentimiento probablemente se enfrentará con el tema de cómo el poder está distribuido entre el gobierno central por un lado y el gobierno regional por el otro lado. (Fig. 11)

Históricamente, las municipalidades en Suecia y Finlandia han detentado un poder definitivo.



Figura 11: Partes interesadas en un proyecto de emplazamiento de un RPG

Suecia: En los comienzos de los 80', las excavaciones en profundidad dieron lugar a amplias protestas locales. Al final de la década, el implementador, la industria nuclear propietaria de SKB, reformuló su estrategia de emplazamiento, reconociendo que bajo la legislación de licenciamiento sueca, las comunidades tenían una capacidad de veto casi absoluta sobre el desarrollo de un RGP dentro de sus territorios. En 1992, SKB envió una carta a las 286 municipalidades, preguntando si algunas de ellas estaban interesadas en permitir llevar adelante estudios de factibilidad. Cualquier manifestación de interés, sería puramente voluntaria y podrían retirarse en cualquier momento. SKB eligió finalmente dos de ellas: OSKARSHAMN y OTHAMMAR. La compañía estableció una presencia en cada municipalidad, interactuando con los residentes y creando una confianza sólida. En el 2009, SKB eligió Osthhammar para construir un RGP sobre una formación rocosa y a Oskarshamn para construir una instalación de encapsulamiento. Dos años más tarde, SKB emitió la licencia de aplicación. El regulador está revisando estas aplicaciones para determinar si satisfacen los requerimientos y, en paralelo, se están conduciendo procedimientos para determinar si las aplicaciones cumplen con el Código Medioambiental Sueco.

Finlandia: Ha adoptado el concepto de disposición de Suecia. Como su vecino, la mayor parte del país está cubierto por un lecho rocoso cristalino. El criterio de selección del sitio, así como la densidad de población, se establecieron en 1983. Las investigaciones se focalizaron en el 2000 en 4 sitios: a diferencia de la contraparte sueca, el implementador (la industria nuclear, propiedad de Posiva), eligió no comprometerse con comunidades potencialmente hospedantes de un modo intenso. En su lugar, informalmente interactuó con hacedores de opinión, políticos e industriales. Dos de las comunidades seleccionadas, Olkiluoto y Hastholmen, poseen plantas de energía nuclear y, en estos casos, la municipalidad juega un rol decisivo en relación al emplazamiento. El RGP fue aprobado por el Gobierno en el 2000 y ratificado por el Parlamento un año más tarde. En Diciembre de 2012, Posiva presentó un pedido de licencia al regulador STUK, para la construcción del RPG en Olkiluoto, a 450 m de profundidad, con capacidad de 9.000 ton. de ECGs provenientes de los cuatro reactores y también de dos futuras plantas. A fines del 2013 se presentó el pedido de licencia. El complejo incluirá la planta de encapsulamiento en superficie. Cuando los aspectos de seguridad hayan sido revisados, el

pedido de licencia será presentada este año (2014) y habrá también una consulta pública. Las operaciones de disposición final comenzarían en el 2020.

Francia: La búsqueda preliminar del sitio comenzó a principios de los 80'. Se generó una intensa oposición pública, llegando a demostraciones masivas. El Parlamento Francés en 1991, por ley, requirió al implementador que la agencia Andra caracterizara dos sitios para un laboratorio de investigaciones subterráneo (URL), uno de los cuales fuese en granito y el otro en arcilla. Últimamente, las comunidades en los Departamentos de Meuse/Haute-Marne (arcilla) y Vienne (granito) acordaron hospedar un URL. ANDRA preparó un extensivo análisis técnico, evaluando si RAA podrían ser emplazados en la región arcillosa de Meuse/Haute Marne. En el 2006, el Parlamento, designó la zona de Bure en la región de Meuse/Haute Marne. En el Departamento de Vienne estaban entusiasmados con la idea, pero el sitio en granito no logró pasar a través del filtro técnico. (Debido a que la ley de 1991 requería la caracterización de al menos dos sitios, el Gobierno estableció una misión que identificó técnicamente sitios de granito en 16 Departamentos. Sin embargo, el mero anuncio de la visita de emisarios del Gobierno a los Departamentos seleccionados disparó una fuerte protesta casi en todas partes). Consecuentemente, para cumplir con la ley de 1996, Andra fue forzada a comparar un sitio "real" de arcilla y uno "abstracto" de granito.

Reino Unido: Después de décadas de temporizar, el Gobierno lanzó un ambicioso programa llamado *"Managing Radioactive Waste Safely – MRWS"* y definió un proceso de etapas múltiples. Fue una obligación asumida por las autoridades emplazar un RGP solamente en comunidades que "voluntariamente" expresaran interés en tomar parte del proceso para emplazar una instalación de disposición geológica. A pesar de los esfuerzos para estimular a las comunidades, solamente las autoridades de Cumbria County expresaron interés en participar. Se estableció una sociedad asesora con representantes de 17 organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Significativamente, tres grupos de defensa ambiental rechazaron participar en la misma. Después de alrededor de tres años de esfuerzos intensivos y altamente transparentes, la sociedad presentó un informe final a las autoridades de Cumbria, las cuales rechazaron la propuesta. Entre otras, las razones aducidas fueron la falta de sitios potenciales específicamente identificables, las preocupaciones acerca de si el Gobierno permitiría

a las comunidades abandonar el proceso MRWS durante el transcurso del mismo, y la contraposición entre los beneficios económicos del repositorio propuesto por industriales de West Cumbria y el interés turístico de East Cumbria.

Canadá: En un informe al gobierno, el llamado *"Seaborn Panel"* concluyó que el concepto de disposición final propuesto por la Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) había fallado por no asegurarse la aceptación pública. En consecuencia, el Parlamento Canadiense presentó una ley en el 2002, autorizando a la "Nuclear Waste Management Organization" (NWMO), para desarrollar con los canadienses, una estrategia de gestión a largo plazo del ECG. NWMO realizó un extraordinario esfuerzo para interactuar con todos los sectores de la nación, especialmente con grupos aborígenes. Recomendó al gobierno un proceso de emplazamiento llamado *"Adaptive Phased Management"*, el cual combina diseños institucionales específicos y desarrollo con un concepto técnico que descansa sobre múltiples barreras o capas de protección (*defense-in-depth*). Dos años más tarde el Gobierno aprobó la estrategia.

En mayo de 2009, NWMO presentó para información y debate público el proceso para seleccionar el emplazamiento del repositorio. El plan especificaba criterios generales que podían descalificar sitios potenciales, buscando expresiones voluntarias de interés de las comunidades, y suministrando garantías respecto de la posibilidad de retirarse del proceso. A comienzos del año siguiente, NWMO comenzó recibiendo expresiones de interés de 21 comunidades. Algunas áreas fueron totalmente inadecuadas. La mayoría, sin embargo, pasó el filtro inicial, y muchas de ellas han decidido efectuar estudios de evaluación preliminar más detallados. Tal éxito tuvo la implementación de *"Adaptive Phased Management"* que en septiembre de 2012, NWMO anunció la suspensión de recepciones adicionales de interés. NWMO encargó un conjunto de servicios y estudios, se encontró con individuos a través del país, y promovió diálogos de tópicos específicos.

Japón: Estableció la Ley sobre la Disposición Final, la cual entró en vigor en el 2000. La ley creó la "Nuclear Waste Management Organization" (NUMO), como implementadora, un proceso de emplazamiento por etapas voluntario, y creó un sistema de financiamiento para el desarrollo de un RGP para RAA y residuos contaminados con TRU y RBA de período largo.

En diciembre de 2002 NUMO envió una

solicitada abierta a las 3.239 municipalidades. Las comunidades acordarían una búsqueda de sitios potencialmente adecuados, para lo cual se establecieron Áreas Preliminares de Investigación y, aquellas que aprobaran, pasaban a Áreas de Investigación Detalladas. El sitio del RGP sería elegido basado en investigaciones en superficie así como en mediciones y ensayos en un laboratorio subterráneo. El Mayor del municipio de TOYO, en la Prefectura Kochi al sudoeste de Tokyo, anunció que respondería positivamente a la solicitada abierta de NUMO. Esta idea fue desechada en una elección que servía como un referéndum sobre la participación en el proceso de emplazamiento. La oposición se opuso inmediatamente dentro de la comunidad local y desde gobernadores de prefecturas cercanas. Últimamente, ninguna otra comunidad se ha propuesto como hospedante. De tiempo en tiempo, el gobierno japonés ha sugerido que las alternativas a una estrategia voluntaria pueden ser consideradas. El accidente de Fukushima causado por el tsunami, probablemente amortiguará cualquier impulso voluntario al menos en el corto plazo.

Suiza: En 1994, GNW, una subsidiaria de NAGRA, y la Confederación Suiza, solicitaron construir un RGP en la región de Wellenberg del Cantón Nidwalden. Aunque las autoridades locales apoyaron la solicitud, un año más tarde un referéndum cantonal rechazó la oferta de GNW. Esta envió un pedido de licenciamiento modificado en el 2001. Este tuvo el mismo destino: la aprobación del gobierno local pero el rechazado por el público. Esta experiencia condujo a la formación de un grupo experto asesor, el cual desarrolló la noción de “Disposición Geológica Controlada”. Las recomendaciones del grupo dieron lugar a la Ley del 2002. La legislación requiere una demostración factible de la disposición segura y permanente de los RAA y los ECGs. Este requerimiento fue cumplido y el Gobierno aprobó la evaluación de seguridad de Nagra de un repositorio hospedado en arcilla (*opalinus clay*).

Cuatro años más tarde (2006), el Gobierno promulgó el *Sectoral Plan*, el cual define el criterio para el proceso de emplazamiento y la elección de las regiones y sitios potenciales. El *Sectoral Plan* demanda un proceso de tres etapas.

Etapas 1: Las regiones de emplazamiento adecuadas son identificadas para cada tipo de repositorio, basadas sobre un criterio de seguridad definido por la autoridad regulatoria.

Etapas 2: Los sitios potenciales son definidos en las regiones de emplazamiento propuesto, considerando

las evaluaciones de seguridad y los factores socio-económicos.

Etapas 3: Se realiza una investigación detallada en dos sitios por cada tipo de repositorio. Tales investigaciones incluyen una evaluación completa de seguridad por cada sitio seleccionado.

Basado sobre los resultados de este proceso, será seleccionado un emplazamiento para cada tipo de repositorio.

La Etapa 1 fue completada cuando se aceptó la identificación por Nagra de seis áreas de emplazamiento adecuadas. Nagra está identificando ahora los sitios específicos dentro de las regiones aceptadas. A medida que ello se hace, se compromete a las comunidades locales para determinar informalmente si ellas apoyarían o se opondrían al emplazamiento de un repositorio. En Suiza, el voluntarismo no es contemplado. El *Sectoral Plan* requiere varias rondas de consultas públicas. Las comunidades serán interrogadas sobre sus puntos de vista, pero a ellas no le ha sido dado ningún derecho legal de objetar. Finalmente, el “Federal Council” seleccionará el sitio del repositorio y esa decisión estará sujeta a un referéndum nacional, no cantonal. En varios aspectos, entonces, el proceso de emplazamiento de Suiza concentra el poder de decisión en las manos de técnicos y elites políticas nacionales.

Alemania: Hace más de 35 años, se identificó una formación salina cerca de Gorleben (Baja Sajonia), que puede ser la adecuada para el desarrollo del RGP. El gobierno Alemán ha elegido la ubicación basada en un proceso de 4 etapas. Las *audiencias fueron conducidas sobre la conveniencia de desarrollar un “National Waste Management Center”, el cual incluiría no solamente la construcción del RGP, sino también de una planta de reprocesamiento*. El Gobierno Federal aceptó las conclusiones de la audiencia de que en Gorleben se desarrolle un repositorio para RAA. A comienzos de 1979 y hasta antes del 2000, fueron llevados a cabo experimentos en superficie y subterráneos. Durante ese período, los oponentes a nivel nacional mantuvieron que el proceso para seleccionar el sitio había sido imperfecto y que en cualquier caso, una evaluación desinteresada del trabajo técnico claramente demostraría que el sitio era inadecuado. Se alcanzó un acuerdo entre la “Red/Green” del Gobierno Alemán y las utilidades nucleares en el 2001 y se estableció una moratoria de 3-10 años sobre las investigaciones en Gorleben. 10 años más tarde, el Gobierno Demócrata Cristiano finalizó la moratoria, y la habilitó nuevamente en

diciembre del 2012, después del tsunami de Japón. La nueva moratoria finalizará con la próxima elección federal, lo cual se anticipó en septiembre del 2013

A comienzos de noviembre de 2012, se sostuvieron discusiones entre los principales partidos políticos para establecer una posición común sobre una nueva selección del sitio. En mayo 2013, el Parlamento Alemán comenzó a debatir una estrategia en consenso, lo cual llevó a la formación de una amplia comisión para desarrollar un criterio detallado de la adecuabilidad del sitio.

EL CASO WIPP (Waste Isolation Pilot Plant)

El único repositorio RGP en operación en el mundo es WIPP en Nueva Méjico (USA). La historia de su emplazamiento demuestra los esfuerzos para instituir un proceso basado en el consentimiento en los EE.UU. Un comité de La Academia Nacional de Ciencias (NAS) identificó formaciones salinas como el método más promisorio para la gestión a largo plazo de los RAA. Basado sobre las recomendaciones de la "Interagency Review Group" (IRG), *el presidente Carter decidió que un repositorio separado para TRU generados en defensa no era necesario y buscó eliminar los fondos de WIPP.* Pero, apoyado por una campaña política sofisticada conducida por los ejecutivos de Carlsbad, el Congreso autorizó el desarrollo de WIPP y recomendó al DOE que entrara en el acuerdo de consulta y cooperación con el estado de Nueva Méjico, creándose un Grupo de Evaluación Ambiental para asesorar al estado. Como un comentarista dijo: El grupo apoyó el proyecto de WIPP pero llevó una estrategia más cautelosa que el DOE, incitando a más estudios. El WIPP Land Withdrawal Act en 1992 resolvió muchos de estos conflictos. En 1998, EPA certificó el cumplimiento de WIPP con los estándares de radiación. WIPP comenzó a recibir residuos de los Alamos National Laboratory en marzo de 1999.

Aunque el estado de Méjico ha sido celoso en salvaguardar sus derechos y responsabilidades, nunca se ha opuesto incondicionalmente al desarrollo de WIPP. Su conformidad ha dependido, al menos hasta ahora, de *impedir la disposición de RAA y ECGs provenientes de reactores comerciales en la facilidad o próxima al sitio.*

Queda por verse si, bajo un nuevo proceso de emplazamiento con consentimiento, será desarrollado un repositorio para RAA en ese sitio, o será desarrollado en el sudeste de Nueva Méjico. Un estudio en 1970 indicó que la primera selección para un RGP sería una formación salina basada en

sus características y disponibilidad. Los depósitos salinos presentan las siguientes características: buenas propiedades estructurales, con propiedades de resistencia a la compresión y de blindaje a la radiación similar al cemento; ausencia de agua subterránea circulante y aislación de los acuíferos subterráneos arriba y abajo; ubicación en áreas de baja sismicidad; cierre de algunas fisuras que se pueden desarrollar por deformaciones plásticas y recristalización de la sal; propiedades térmicas mejores que otros tipos de roca y son relativamente baratos de excavar. Políticos representantes de Carlsbad, NM, propusieron el lugar en el sudeste de ese estado, inicialmente una mina abandonada de potasa, lo que fue aprobado en 1981. Hubo grupos antinucleares que generaron litigios y finalmente se acordó solo a los TRU de defensa. A pesar de varias tentativas de oposición durante la construcción, su aceptabilidad continuó.

El Congreso aprobó su ejecución por Ley de 1992: Esto condujo a la certificación de WIPP (EPA) en 1998 y la primera DF de TRU en 1999. Así, **hoy continúa operando después de 14 años.**

Para suministrar alguna perspectiva, transcurrieron 27 años desde la propuesta de ubicar a WIPP en NM hasta la operación de la instalación. El desarrollo de YM ya lleva 25 años y debería estar operativo en 2020. El estado de Nevada y grupos antinucleares fueron capaces de suspender el proyecto YM, a través de la política y no sobre razones científicas o técnicas.

Fases de Adaptación (*Adaptive Staging*) una estrategia inteligente

Una estrategia inteligente llamada "**Adaptive Staging**", o **Etapas de Adaptación**, es una estrategia para el desarrollo de un RGP que incluye: emplazamiento, licenciamiento, construcción, operación, cierre y monitoreo.

La opinión actual sobre la GRR en la arena internacional, sugiere la adopción de una estrategia por etapas para el desarrollo de RGPs. Ejemplos de este concepto fueron los programas de Suecia, Reino Unido, Suiza, Finlandia, Francia, Japón, Canadá y EE.UU. Representantes de EE.UU., Francia y Japón reiteraron la importancia de adoptar este concepto.

Etapas de Adaptación (EA): Se define como un proceso desarrollado en etapas que se separan por puntos explícitos de decisión. Éstas proveen la oportunidad de evaluar los resultados obtenidos y decidir cómo proceder en la siguiente etapa.

Permiten mejorar el programa con respecto a seguridad, costos y cronogramas. La secuencia sería analizar el conocimiento reunido de las etapas previas; tener en cuenta todas las opciones relevantes para la próxima etapa, incluyendo la reversibilidad; evaluar y actualizar el caso de seguridad y decidir sobre la próxima etapa sobre la base de las acciones establecidas antes. Se está aún en proceso de discutir el rol de los “stakeholders” en los puntos de decisión. En otras palabras, las “EA” son un proceso de decisión y gestión cautelosa y deliberada que involucra continuo aprendizaje y también transparencia y reversibilidad. Un proceso predeterminado y lineal que se caracteriza por ser un simple camino a un simple punto final.

Atributos Esenciales: Son aquellos dirigidos a aumentar la seguridad y reducir las incertidumbres del comportamiento del RGP, a través del **Compromiso** a un aprendizaje sistemático; la **Flexibilidad** (flexibilidad y reversibilidad son atributos intrínsecos de las EA); **Ser Auditable** (los registros de decisión adecuadamente documentados permiten el examen y la verificación por cuerpos externos creíbles. Este proceso involucra al implementador, al regulador, a los cuerpos de auditoría externa y a otros “stakeholders”); y la **Transparencia** (las decisiones políticas y técnicas deben ser claramente diferenciadas).

Beneficios potenciales y desventajas de las FA: el desarrollo en etapas, reconocido en el campo de la GRR, es beneficioso en la implementación a largo plazo de las estrategias de DF de los RRs; no obstante presenta algunas desventajas potenciales.

Los RGPs son los únicos proyectos complejos y de largo plazo que tienen interacción técnica e institucional y características sociales.

Los beneficios potenciales son:

- Programáticos: las EA constituyen una estrategia lógica para gestionar proyectos complejos tales como los RGPs. Con la posibilidad de reversión, el proceso de decisión puede hacerse más manejable. Las EA permiten a los hacedores de decisiones ejecutar solamente aquellas etapas del desarrollo donde el conocimiento está disponible (etapas a corto plazo), manteniendo opciones abiertas al futuro. La flexibilidad de las EA permitiría al implementador reaccionar frente a inevitables sorpresas técnicas, políticas, económicas o sociales.
- Técnicos: las EA no solo permiten conocer e

incorporar nuevos datos técnicos a través del desarrollo del RGP, sino también después que los residuos sean ubicados, como por ejemplo, desarrollar planes de monitoreo en el largo plazo.

- Regulatorios: los reguladores tienen la ventaja de evaluar el programa más a menudo debido al número creciente de puntos de transparencia.
- Institucionales: las EA ayudarían al público a confiar en las capacidades de la institución implementadora para cumplir las responsabilidades en el muy LP.
- De integración: poder incorporar en el proceso de decisión toda la evidencia relevante, incluyendo las ofrecidas por partes externas al programa del RGP.
- Sociales: la participación de las partes interesadas hace al programa más creíble y confiable.

Las desventajas potenciales son:

- Programáticas: las EA requieren inversiones financieras sin una “garantía” a que puedan estar sujetas algunas de las futuras etapas potenciales. Puede también extender la escala del tiempo necesario para la operación completa del RGP.
- Técnicas: las EA pueden conducir a largos períodos en los cuales el residuo es más accesible al hombre.
- Regulatorias: más vigilancia puede retrasar el programa del RGP.
- Sociales: los “stakeholders” opuestos al proyecto pueden deliberadamente retrasar el programa.
- Suecia, Suiza y Finlandia han implementado estrategias en etapas a través de la fase de emplazamiento solamente. Francia está implementando etapas en las fases de investigación y desarrollo de su programa de RGP. Muchos de los programas de GRR que han adoptado una estrategia lineal, ordenada, de múltiples etapas para desarrollar el RPG, han sido demorados o fallidos, como el descrito en un informe previo del National Research Council.

Finlandia: el proceso en etapas para el emplazamiento del RGP es un ejemplo de balance entre un criterio geológico y una conducta social a través de un compromiso máximo de la comunidad y con la confianza pública. El sistema finés permite involucrar a “stakeholders” en las decisiones, pero cuando las decisiones están de acuerdo y ratificadas por el gobierno, ellas se vuelven no negociables. No son irreversibles, ya que las decisiones pueden ser discutidas de nuevo si cuestiones técnicas o de seguridad lo demanden. La construcción del RGP en

Olkiluoto fue ratificada por el Parlamento Finés en mayo 2001. Las operaciones de dicha construcción están divididas en etapas de unos 10 años.

Suecia: el proceso en etapas en Suecia para el emplazamiento de un RGP se estableció en 1992. Las diferentes etapas han sido intensamente discutidas durante el programa entre los “*stakeholders*”. Los resultados de estas discusiones han formado la actual secuencia de información, revisiones, audiencias y puntos de decisión. En este aspecto el programa sueco ha sido totalmente adaptativo. La evaluación de impacto ambiental fue analizada. Hay también, en las comisiones, representantes de las municipalidades y ellos, como políticos electos, también representan al público. Las discusiones están bien documentadas y los resultados de estas reuniones se vuelven parte del material de fondo para las decisiones del consejo de la municipalidad.

Conclusiones

Dado que las vainas constituyen la primera barrera física del confinamiento de las pastillas de combustible y de los productos de fisión generados, es preciso que mantengan la integridad estructural a lo largo de todo el ciclo de combustible. Es relevante entonces diseñar un programa de control del envejecimiento para prevenir, mitigar y detectar efectos de envejecimiento tempranamente a través de diversos y sucesivos monitoreos, asegurando así la recuperabilidad del ECG y su transporte a un RGP después de un almacenamiento extendido a largo plazo.

Los residuos nucleares han sido siempre considerados el talón de Aquiles de la Energía Nuclear.

La implementación de una estrategia de emplazamiento para la disposición final de ECGs y RAA no es una tarea fácil, especialmente a la luz de los intereses de las partes involucradas (*stakeholders*) y el rechazo general entre el público por falta de

información técnicamente correcta y honestamente alimentada. Aparentemente, la estrategia de las “Etapas de Adaptación” parece ser la más aceptable por sus condiciones de avanzar paso a paso, de flexibilidad y de reversibilidad, que favorecen la aceptabilidad y confiabilidad de la opinión pública. De todos modos mientras tanto hay que recurrir a los almacenamientos interinos húmedos y secos en el mediano, largo y muy largo plazo.

“Avanzar en forma persuasiva y técnicamente defendible para la seguridad de un concepto de disposición final de un país, previo a la búsqueda del consentimiento de una comunidad, parece aumentar las chances de ganar”.

Bibliografía

- Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica, “Gestión Final del Combustible Gastado y Residuos de Alta Actividad”, Marta H. de Pahisa-Primera parte: No 27/28 Julio/Diciembre 2007-Segunda parte: No29/30 Ene/Jun 2008-Tercera parte: No 35/36 Diciembre 2009-
- *International Atomic Energy Agency, “Storage of Spent Nuclear Fuel”, IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. SSG-15, Vienna 2012.*
- *DOE (2010) “Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future , Advisory Committee Charter”. US, March 2010.*
- *A report from the American Nuclear Society’s 2012 Winter Meeting, Nov.11-15 2012, San Diego, California, USA.*
- *Managing Aging Effects on Dry Cask Storage Systems for Extended Long-Term Storage and Transportation of Used Fuel, Yung Y. LIU (Argonne National Laboratory), ANS June 30, 2012, Chicago, USA.*
- ENRESA-“Integridad estructural de las vainas de combustible nuclear en condiciones de almacenamiento temporal en seco”, Miguel Ángel Ringel, Publicación técnica 05-2010.

Modelamiento geológico mediante “software” minero del sector Tigre I La Terraza: Distrito Uranífero Sierra Pintada, provincia de Mendoza

MANSILLA M. Y., DIEGUEZ S. R. – Complejo Minero Fabril San Rafael – Gerencia Producción de Materias Primas
- Comisión Nacional de Energía Atómica.

El presente trabajo refleja la metodología aplicada para efectuar el modelamiento geológico de un sector del yacimiento de uranio Sierra Pintada, mediante el soporte de un “software” minero. Para el caso particular del depósito en estudio, “Tigre I - La Terraza”, su modelamiento geológico consiste en la combinación de los modelos estructural, litológico y de mineral.

El trabajo se inició con la recopilación y procesamiento de datos, incluido el análisis de la información de las perforaciones y la topografía, la manipulación de líneas y polilíneas en diferentes secciones para delimitar los sólidos que representan al yacimiento, y la generación de dichas superficies y sólidos a partir de las polilíneas creadas.

En el sector “Tigre I - La Terraza” se han identificado tres cuerpos mineralizados de los cuales aquí se presenta el paso a paso del modelamiento del cuerpo B, con el objetivo de exponer el detalle del método, mientras que al final del trabajo, se muestran también los resultados de los otros dos cuerpos.

This paper presents the methodology used for the geological modeling of a sector of “Sierra Pintada” uranium deposit, with the support of a design mining software. For the particular case of the “Tigre I - La Terraza” deposit, its geological modeling involves the combination of the structural, lithologic and mineral models.

This work begins with the collection and processing of data, including the analysis of drilling and topography information, the manipulation of lines and strings in different sections to define solids that represent the deposit and the generation of surfaces and solids from the created strings.

In the “Tigre I - La Terraza” sector, three ore bodies have been identified, out of which the modeling of the body B is herein explained step by step, with the objective of presented the details of the method. At the end of the paper, the results of the other two bodies are also showed.

Introducción

En el año 1968, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) realizó una campaña de prospección aérea radimétrica en el área de Sierra Pintada, que permitió identificar numerosas anomalías radiactivas. El reconocimiento terrestre y los trabajos de exploración y evaluación permitieron definir y delinear el distrito uranífero de Sierra Pintada.

El Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR), ubicado en la provincia de Mendoza, departamento de San Rafael, a 38 km al oeste de la ciudad de San Rafael y a 240 km al sur de la ciudad de Mendoza (Figura 1), comprende el área de mayor importancia del mencionado distrito uranífero, que forma parte de la unidad morfoestructural conocida como “Bloque de San Rafael”.

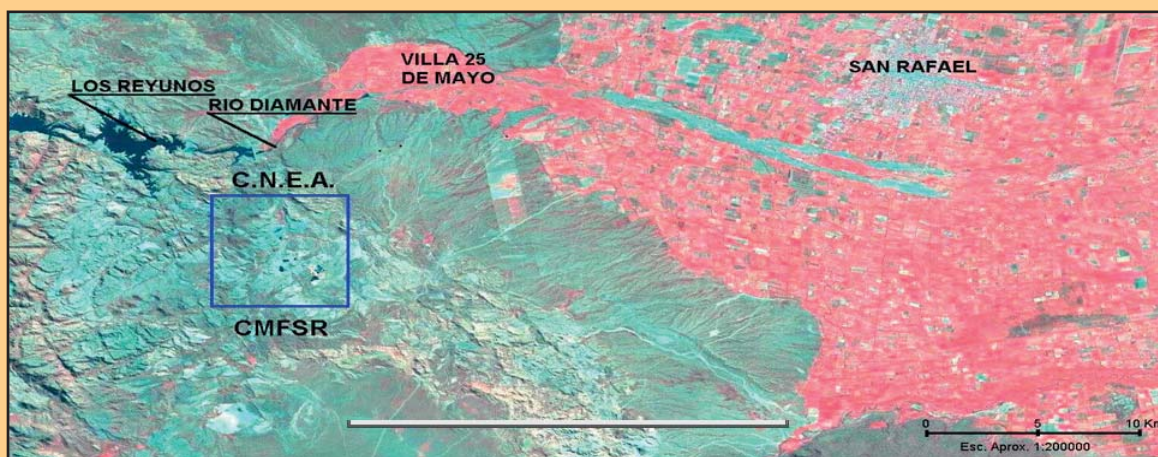


Figura 1. Ubicación del Complejo Minero Fabril San Rafael

La constitución e historia geológica del Bloque de San Rafael es muy compleja. Particularmente para el área de Sierra Pintada, sobre un basamento de terrenos antiguos (Devónico y Carbonífero), afectado por un intenso tectonismo, se desarrolló en el Pérmico inferior una profusa actividad volcánica que derivó en la acumulación de una importante secuencia de rocas volcánicas y volcanoclástica interdigitadas, que conforman el Grupo Cochicó.

En el área del yacimiento de Sierra Pintada, el Grupo Cochicó está integrado por la Formación Yacimiento Los Reyunos y la Formación Arroyo Punta de Agua (Rodríguez y Valdiviezo, 1970).

Dentro de la secuencia que conforma el Grupo Cochicó, cabe mencionar por su interés uranífero a la Formación Yacimiento Los Reyunos, constituida por los Miembros Psefítico, Miembro Andesítico, Miembro Toba Vieja Gorda y Miembro Areniscas Atigradas, destacándose estas últimas por ser la roca fuente y huésped del uranio respectivamente.

La mineralización, también de edad pérmica, es de hábito peneconcordante con la estratificación de la arenisca, encontrándose muy afectada por la fuerte tectónica posterior a su emplazamiento.

El sector Tigre I - La Terraza, perteneciente a los Yacimientos Dr. Baulés y Los Reyunos, se encuentra localizado en el flanco occidental de un braquianticlinal. Como consecuencia de la formación de esta estructura, el depósito fue afectado por fallas directas que delimitaron bloques con variados rechazos, ascendidos y basculados diferencialmente. Dos fallas de primer orden con rechazos de 50 a 70 m. han delimitado al depósito en tres cuerpos principales identificados como A, B y C. Numerosas fallas secundarias han afectado a su vez a estos tres cuerpos, provocando la consiguiente discontinuidad espacial en la mineralización.

En cuanto a la mineralogía, los principales minerales primarios de uranio son uraninita, brannerita y coffinita. Uranofano y escasa liebigita constituyen los amarillos de uranio, producto de la alteración por oxidación de los minerales primarios.

Como antecedente en cuanto al modelamiento geológico del yacimiento se cuenta con la Ingeniería de Base del yacimiento Tigre I - La Terraza, realizada en el año 1984 (L. Lardone y N. Giordano).

Desarrollo

1. Procesamiento de datos

La información de base con la que se llevó a cabo este trabajo incluye la superficie topográfica actualizada, es decir que incorpora el desarrollo de cantera efectuado, la información de collares, leyes y litologías de dos campañas de perforación y el diseño estructural (fallas) de la ingeniería de base.

1.1. Topografía

Se incorporó al “software” un archivo de la topografía generado por el personal de la División Control Geológico y Minería del CMFSR. El sector de la cantera fue relevado en campo con estación total. A partir de puntos de coordenadas conocidas se fueron visando pata y cresta de los bancos, además de algunos puntos de interés del terreno natural. Los restantes puntos fueron obtenidos de planos topográficos ya existentes, mediante la confección de una cuadrícula de 10 m por 10 m según escala del plano, registrándose los valores de coordenadas X e Y en la intersección con cada curva de nivel. En la Figura 2 se presenta el modelo digital del terreno (MDT).

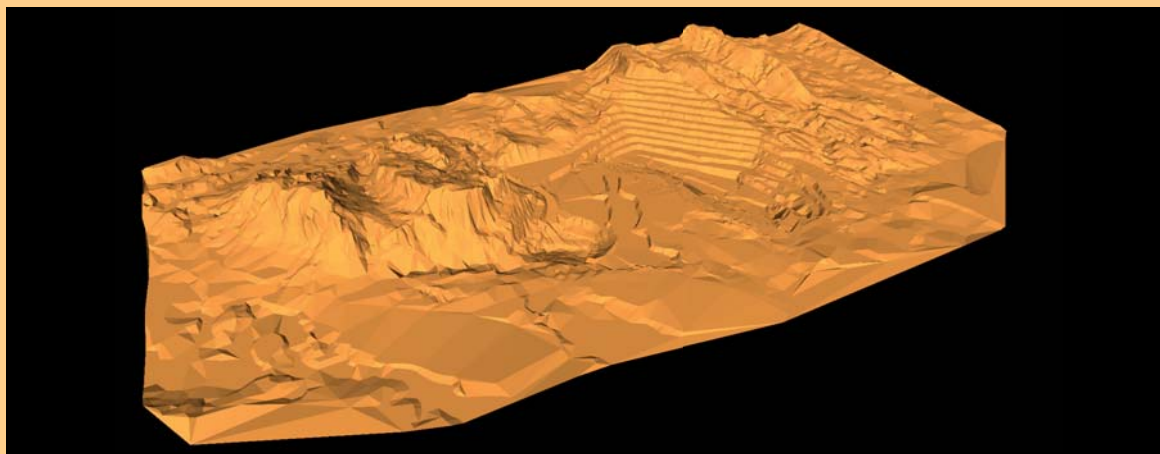


Figura 2. Superficie topográfica en la ventana de visualización

1.2. Perforaciones

1.2.1. Tablas de Datos

La Figura 3 muestra el formato de los archivos que se importan al “software” minero, entre ellos:

- el de collares (coordenadas que indican la posición en el espacio de la boca de la perforación),
- el comienzo y final de cada litología a lo largo de la perforación; y
- los sectores mineralizados con las distintas leyes.

Collares.txt: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR	Cuerpo
D/XXVI	35678.50		67110.69	955.40 B
235-BIS	35642.51		67050.14	956.90 B
808	35476.30		66973.50	1000.30 B
102-bis	35576.20		67035.00	962.04 B
809	35521.70		66992.20	989.30 B
810	35561.40		66985.37	983.60 B
237	35626.50		67104.31	960.00 B
35-BIS	35653.42		67075.37	957.66 B
316	35704.50		67071.69	953.70 B
116	35446.80		67000.31	997.50 B
305	35423.40		67048.87	998.40 B
107	35466.70		67066.37	1000.30 B
106	35498.70		67035.87	987.20 B

Litología.txt: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
BHID	FROM	TO	LITH	
D/XXVI	0	5	TB	
D/XXVI	5	12	AE	
D/XXVI	12	36.2	AM	
D/XXVI	36.2	49	AI	
D/XXVI	49	78	AM	
D/XXVI	78	79.45	AE	
235-BIS	0	2.2	RN	
235-BIS	2.2	51	AM	
235-BIS	51	52	AE	
808	0	52.2	TB	
808	52.2	66.2	AE	
808	66.2	80.2	AM	
808	80.2	80.5	AE	

Leyes.txt: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
BHID	FROM	TO	U	
D/XXVI	0.00	12.00	0.00	
D/XXVI	12.00	13.60	0.75	
D/XXVI	13.60	15.80	0.20	
D/XXVI	15.80	17.40	1.50	
D/XXVI	17.40	18.40	5.20	
D/XXVI	18.40	19.80	1.15	
D/XXVI	19.80	20.80	1.50	
D/XXVI	20.80	21.60	5.00	
D/XXVI	21.60	22.60	1.00	
D/XXVI	22.60	24.00	0.60	
D/XXVI	24.00	29.40	0.35	
D/XXVI	29.40	30.40	1.50	
D/XXVI	30.40	36.20	0.30	

Figura 3. Archivo de texto de los collares, litologías y leyes importados al software.

1.2.2. “Desurveying” de las perforaciones

Los archivos de texto importados se utilizaron para realizar el “desurvey” de las perforaciones. Este proceso que realiza el “software” consiste en la unión de los archivos utilizando el campo identificador de

la perforación como vínculo entre ellos. La Figura 4 presenta la tabla de datos del archivo de perforaciones obtenido. Como se puede observar combina en un solo objeto, la información de los tres archivos incorporados.

RECORD	BHID (A8)	X (N)	Y (N)	Z (N)	LENGTH (N)	FROM (N)	TO (N)	Cuerpo (A4)	U (N)	LITH (A4)
795	102-BIS	35576.2000	67035.0000	920.4400	0.8000	41.2000	42.0000	B	0.6100	AM
796	102-BIS	35576.2000	67035.0000	919.4400	1.2000	42.0000	43.2000	B	0.5500	AM
797	102-BIS	35576.2000	67035.0000	918.2400	1.2000	43.2000	44.4000	B	0.6000	AM
798	102-BIS	35576.2000	67035.0000	917.0400	1.2000	44.4000	45.6000	B	0.3000	AM

Figura 4. Tabla de datos del “desurveying” de las perforaciones.

1.2.3. Compósito de las perforaciones

Luego se compositaron las perforaciones cada 1,25 metros, en función de la litología. Este proceso permite regularizar la longitud o altura vertical de las muestras de la perforación. La Figura 5 presenta la tabla de datos del archivo del compósito de las perforaciones. Como se puede observar, se ha

llevado la longitud de la muestra a tramos de 1,25 metros siempre que se mantuviera el tipo de litología, promediando la ley del mismo. Posteriormente se editó este archivo agregando el campo Zona con los códigos 1 para estéril y 2 para el mineral. De esta manera, cada tramo compositado fue clasificado en una zona.

RECORD	BHID (A8)	FROM (N)	TO (N)	LITH (A4)	X (N)	Y (N)	Z (N)	LENGTH (N)	U (N)	ZONE (N)
622	102-BIS	40.7900	42.0400	AM	35576.1992	67035.0000	920.6250	1.2500	0.5392	1.0000
623	102-BIS	42.0400	43.2900	AM	35576.1992	67035.0000	919.3750	1.2500	0.5536	1.0000
624	102-BIS	43.2900	44.5400	AM	35576.1992	67035.0000	918.1250	1.2500	0.5664	1.0000
625	102-BIS	44.5400	45.7900	AM	35576.1992	67035.0000	916.8750	1.2500	0.3502	1.0000
626	102-BIS	45.7900	47.0400	AM	35576.1992	67035.0000	915.6250	1.2500	0.5474	1.0000
627	102-BIS	47.0400	48.2900	AM	35576.1992	67035.0000	914.3750	1.2500	0.5588	1.0000
628	102-BIS	48.2900	48.6600	AM	35576.1992	67035.0000	913.5650	0.3700	0.8500	1.0000
629	103	0.0000	0.3500	TB	35251.5000	67071.5000	1001.4250	0.3500	0.0000	0.0000
630	103	0.3500	1.6000	TB	35251.5000	67071.5000	1000.6250	1.2500	0.0000	0.0000
631	103	1.6000	2.8500	TB	35251.5000	67071.5000	999.3750	1.2500	0.0000	0.0000
632	103	2.8500	4.1000	TB	35251.5000	67071.5000	998.1250	1.2500	0.0000	0.0000
633	103	4.1000	5.3500	TB	35251.5000	67071.5000	996.8750	1.2500	0.0000	0.0000
634	103	5.3500	6.6000	TB	35251.5000	67071.5000	995.6250	1.2500	0.0000	0.0000

Figura 5. Tabla de datos del compósito de las perforaciones.

La Figura 6 muestra la visualización de las perforaciones, aplicando una leyenda en función de la ley.



Figura 6. Visualización de las perforaciones con una leyenda de ley en la ventana de diseño.

2. Modelo estructural

La fuerte tectónica postmineral que ha afectado al yacimiento provocando el desplazamiento de la mineralización, hace imprescindible contar con un detallado modelamiento de la totalidad de las fallas geológicas. Se tomaron los perfiles Sur-Norte de la

Ingeniería de Base del año 1984 (L. Lardone y N. Giordano) como guía para la representación de las fallas y el modelamiento del cuerpo mineralizado (9 perfiles de coordenadas este 2.535.350 a 2.535.800, cada 50 metros). A modo de ejemplo se presenta en la Figura 7 el perfil de coordenada este 2.535.400 de la Ingeniería de Base.

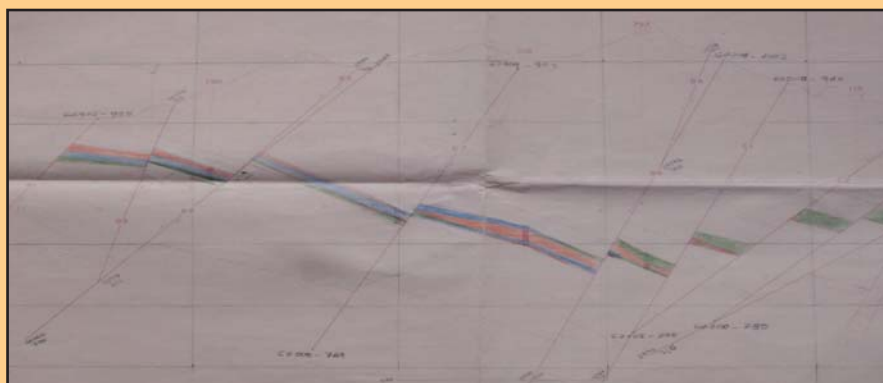


Figura 7. Perfil de la ingeniería de base.

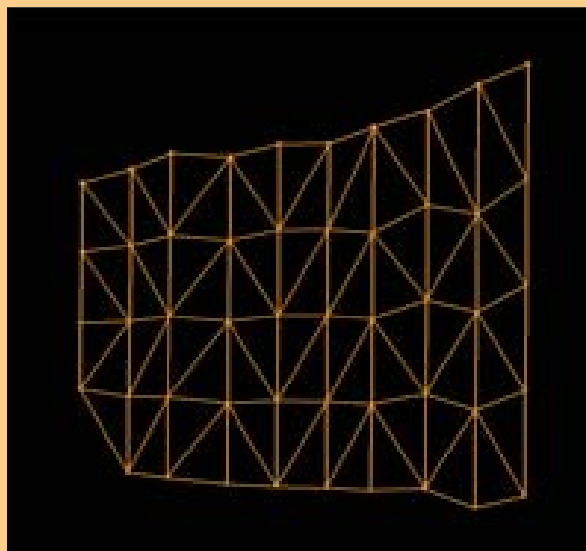
De estos perfiles se tomaron las coordenadas iniciales y finales (también intermedias de ser necesario) de intersección de cada falla con cada perfil. Con estos puntos se crearon líneas, que representan la intersección del plano de la falla

con el perfil y luego se trianguló línea a línea para obtener la superficie que representa el plano de falla. La Figura 8 constituye una secuencia de imágenes que muestran el procedimiento descripto.

A.) Generación de líneas de intersección de la superficie de falla con los distintos perfiles



B.) Triangulación línea a línea para la construcción de la superficie de falla



C.) Visualización de la superficie de falla.

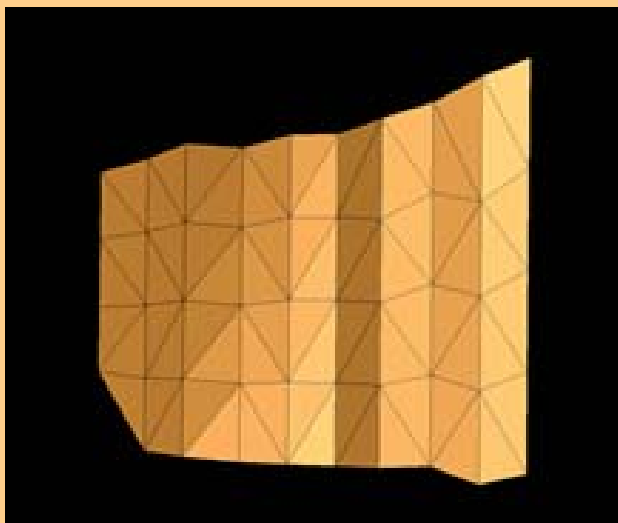


Figura 8. Procedimiento de construcción de las superficies de falla.

Para identificar cada falla se le adjudicó un color distinto. Se efectuó el mismo procedimiento para todas las fallas que afectan al cuerpo mineralizado.

La Figura 9 presenta distintas imágenes que permiten visualizar las fallas modeladas.

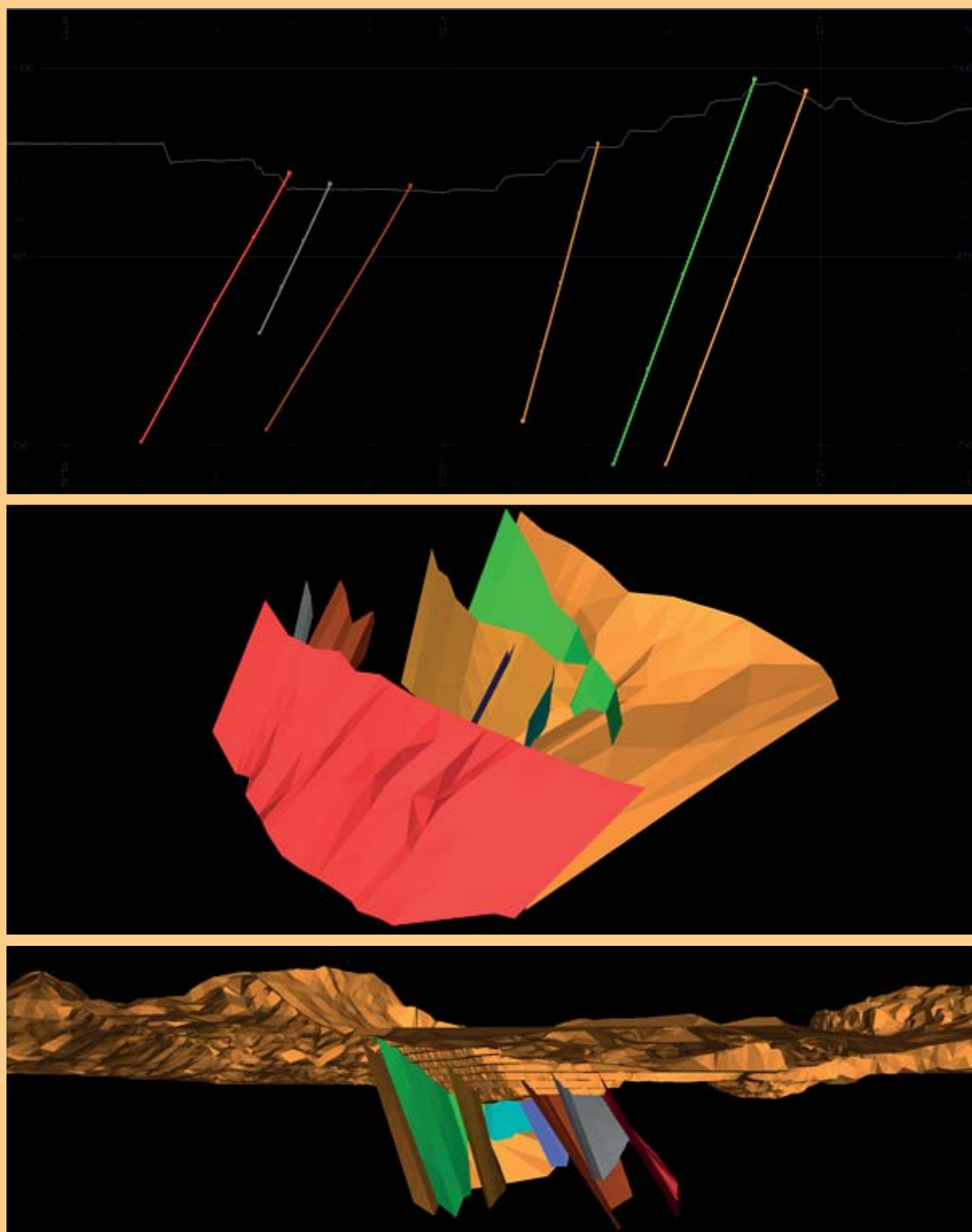


Figura 9. Visualización de las superficies que representan las fallas modeladas.

3. Modelo litológico

Para desarrollar el modelo litológico se generó

una leyenda que diferencia cada tipo de litología (Figura 10).

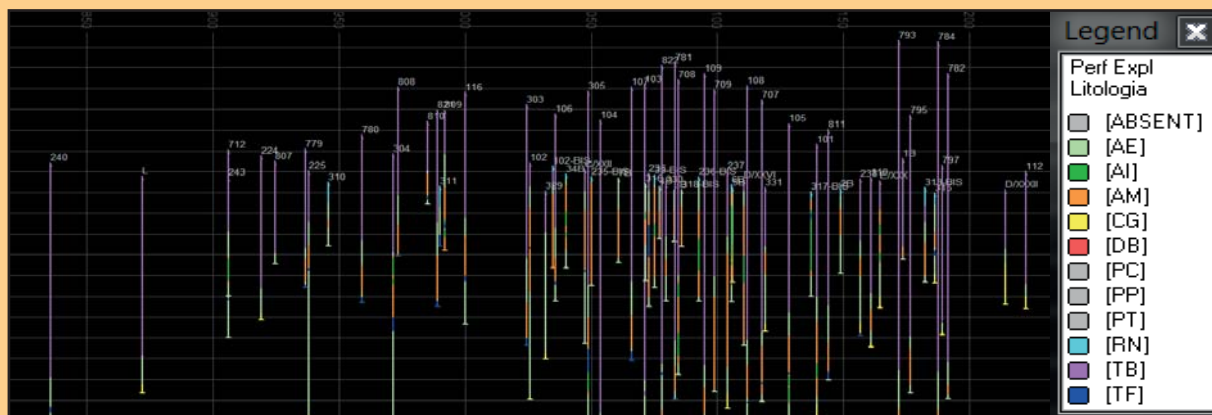


Figura 10. Visualización de las perforaciones con una leyenda de litología.

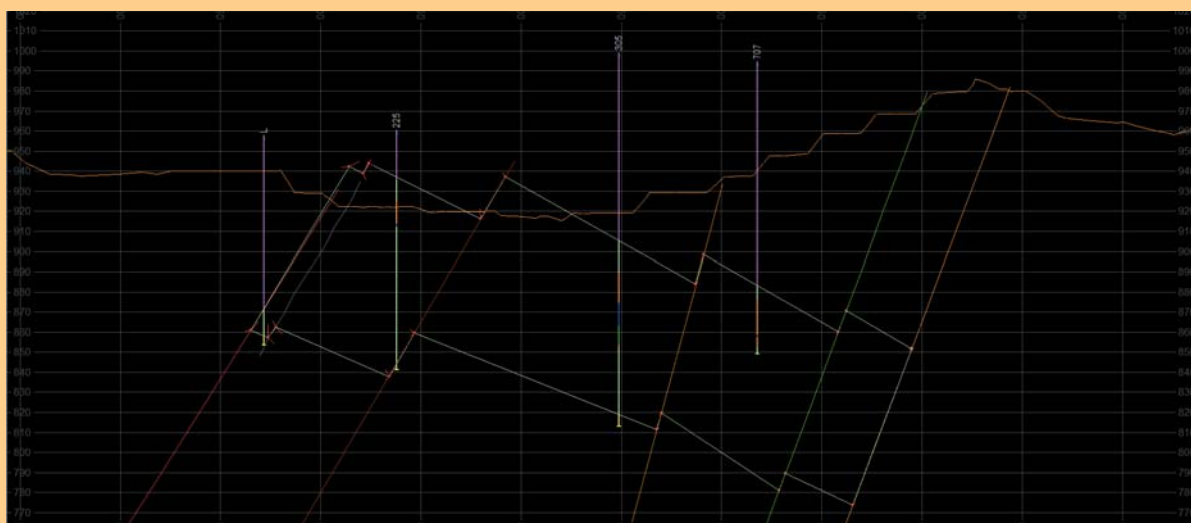
Dado que la arenisca constituye la única roca mineralizada, se modeló esta litología tomando las demás como referencia. Cabe aclarar que las otras dos litologías predominantes son la toba, por encima de la arenisca en la secuencia estratigráfica, y el conglomerado por debajo, constituyendo la base de la secuencia volcánico-lástica.

Este modelamiento se efectuó creando líneas, en varios perfiles, que delimitan el paquete de areniscas, afectado por las fallas representadas en el modelo

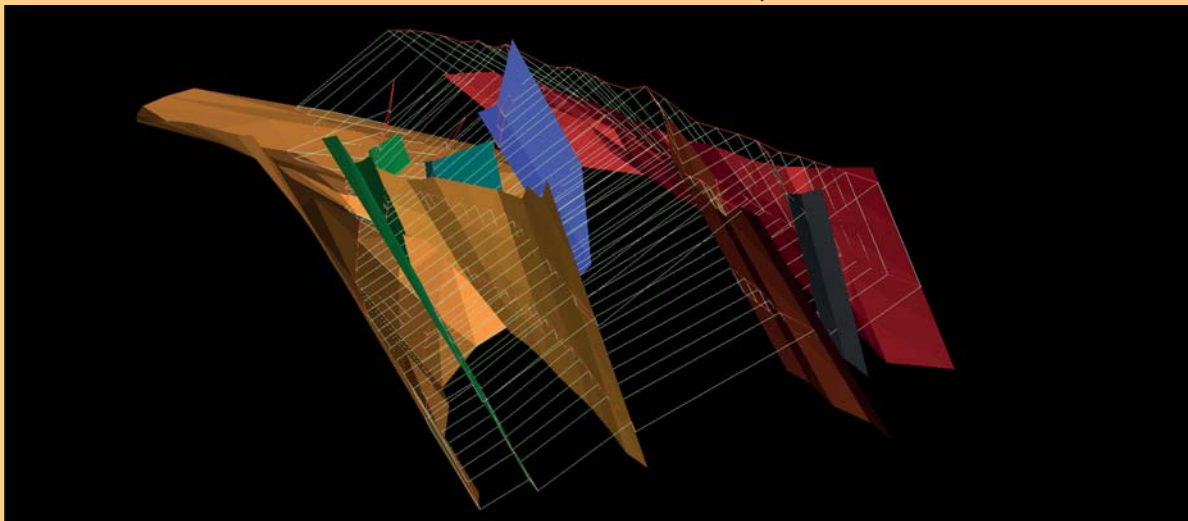
estructural. En esta etapa se efectuaron correcciones del modelo estructural cada vez que se observaron discontinuidades en el espesor o en el buzamiento del estrato de arenisca, indicando la ubicación precisa de una falla. Luego se trianguló línea a línea para obtener la superficie cerrada que representa al volumen de arenisca.

La secuencia de imágenes presentes en la Figura 11 muestra el procedimiento descrito:

A.) Generación de líneas cerradas que representan la intersección del nivel de arenisca con el perfil



B.) Visualización de todas las líneas que representan la intersección del nivel de arenisca con todos los perfiles.



C.) Visualización de la superficie cerrada que representa el paquete de arenisca.

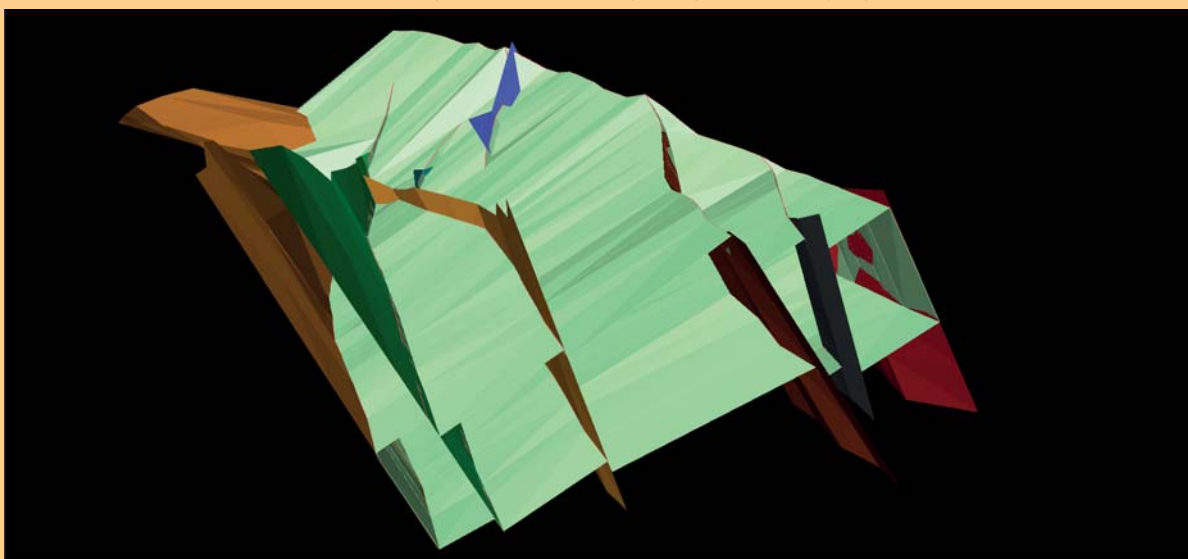


Figura 11. Modelamiento litológico

4. Modelo de mineral

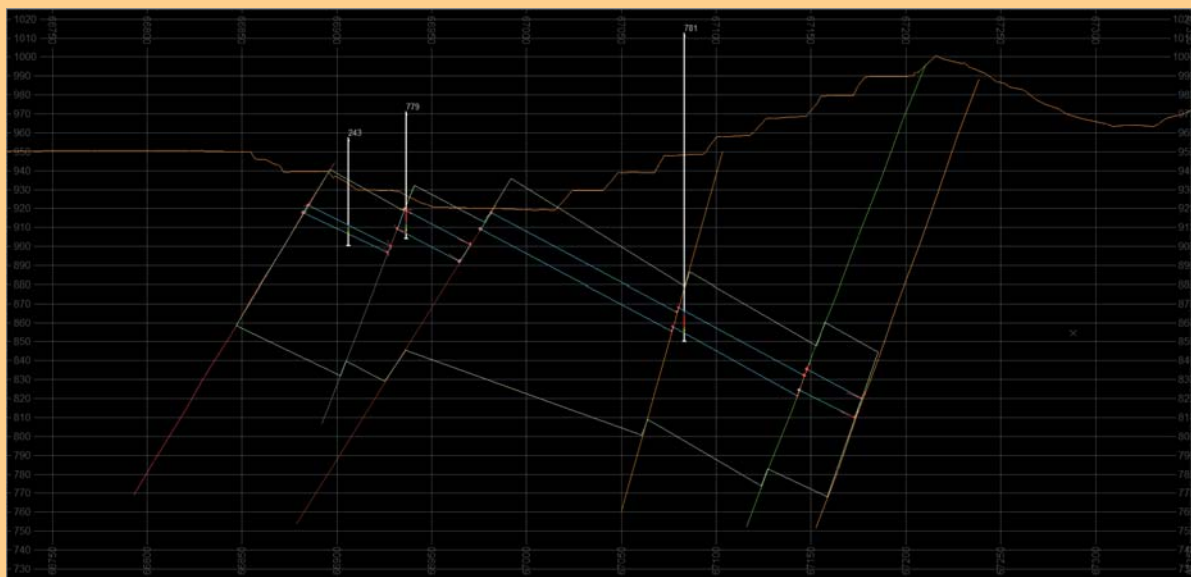
Contando con el modelo estructural y con el modelo litológico, se procedió a modelar el sector mineralizado de la arenisca.

Se efectuaron líneas en varios perfiles, de acuerdo a la leyenda de las perforaciones y tomando como guía los de la Ingeniería de Base. En esta etapa se efectuaron correcciones de los modelos

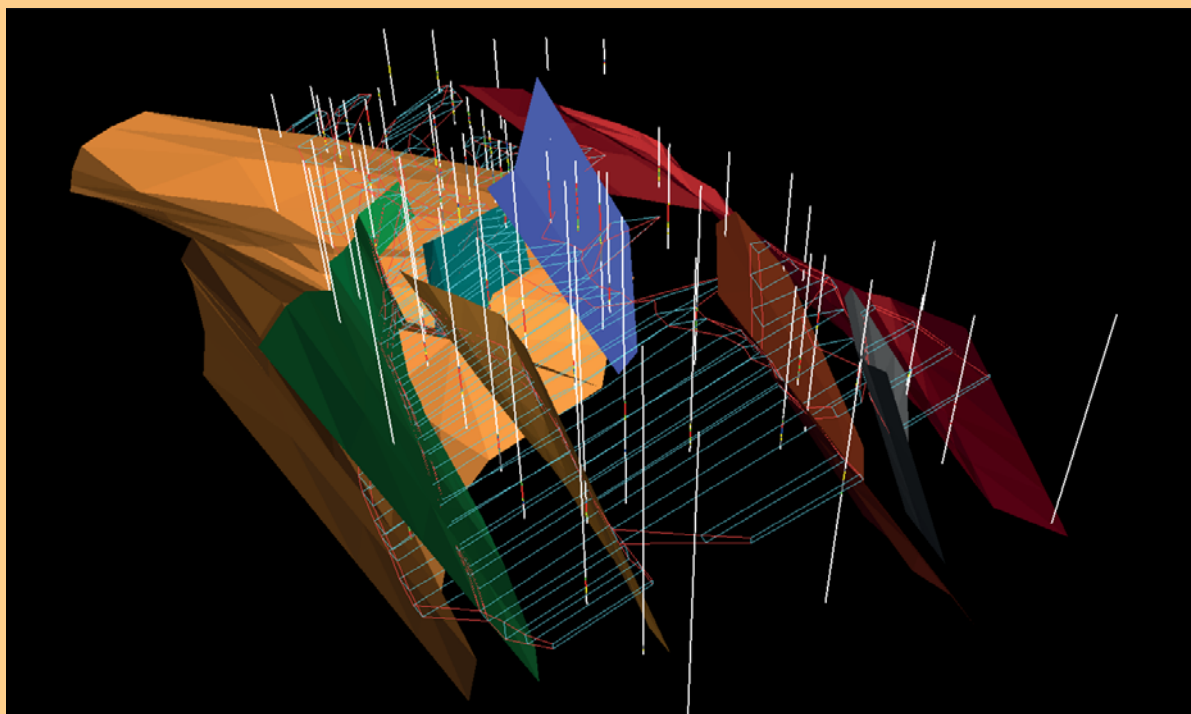
estructural y litológico cada vez que se observaron discontinuidades en el espesor o en el buzamiento del estrato mineralizado, indicando la ubicación precisa de una falla. Posteriormente se trianguló, línea a línea, creándose así la superficie cerrada que representa el mineral.

La secuencia de imágenes presentes en la Figura 12 muestra el procedimiento descrito.

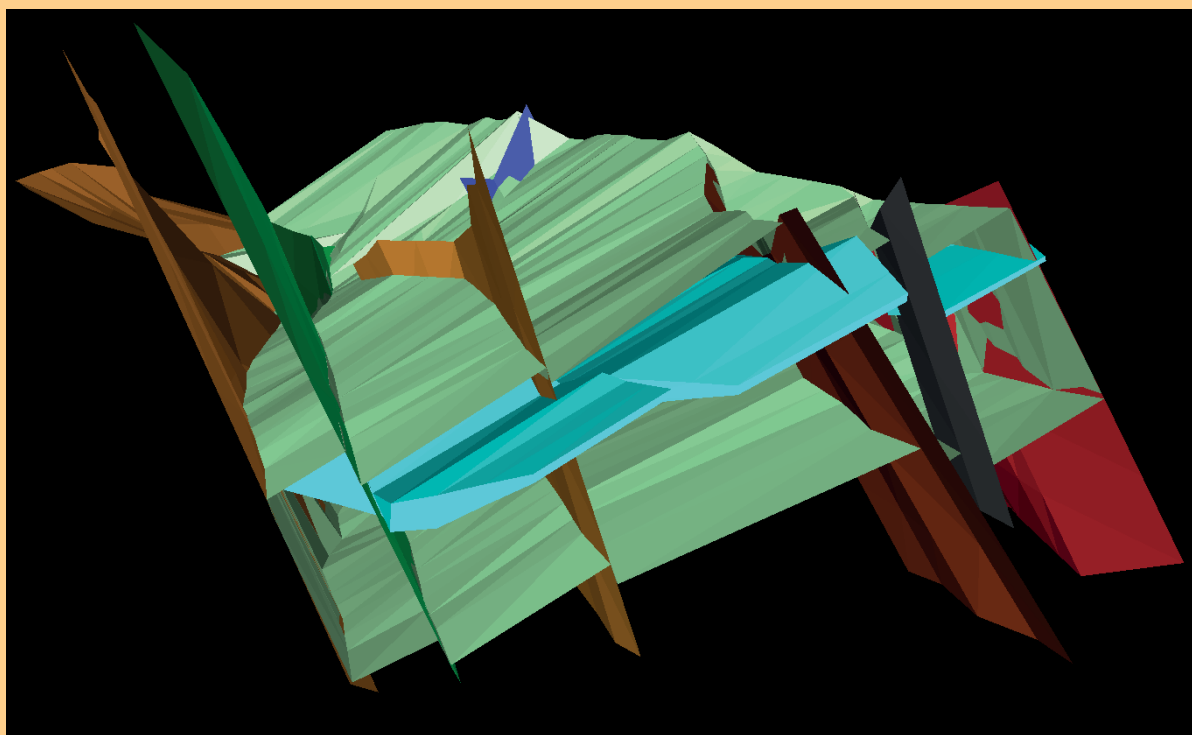
A.) Generación de líneas que representan la intersección del nivel mineralizado con el perfil



B.) Visualización de todas las líneas que representan la intersección del nivel mineralizado con todos los perfiles



C.) Visualización de la superficie cerrada que representa el nivel mineralizado, dentro del paquete de arenisca.



D.) Visualización del nivel mineralizado dentro del paquete de arenisca junto con la topografía

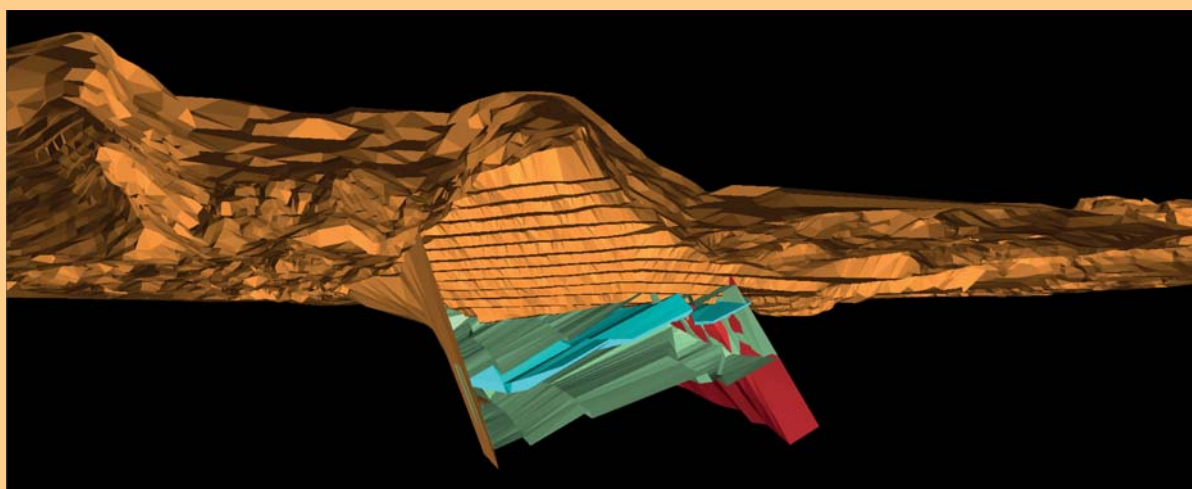


Figura 12. Modelamiento del Mineral.

5. Resultado de los tres cuerpos mineralizados

La Figura 13 muestra los sólidos que representan

los cuerpos mineralizados A, B y C del yacimiento con sus respectivas cubificaciones.

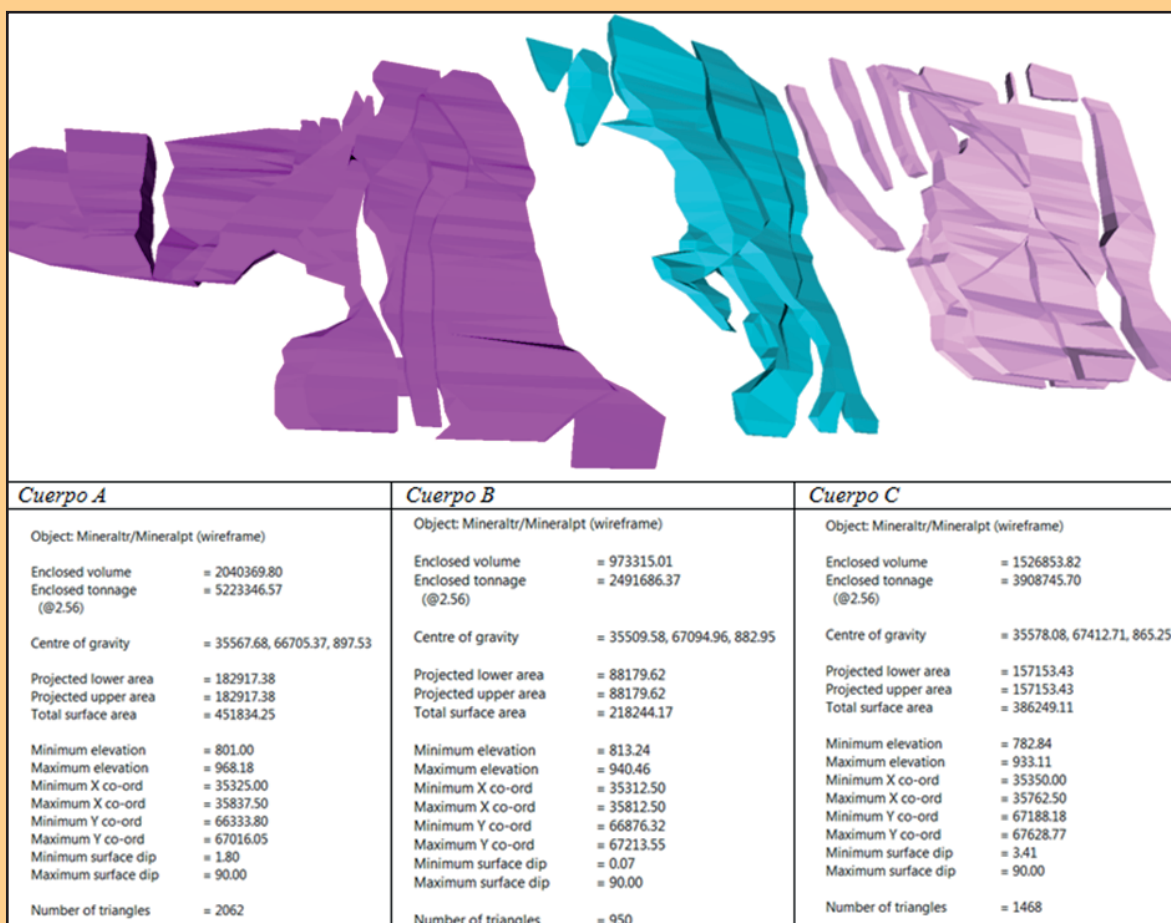


Figura 13. Modelamiento del mineral de los tres cuerpos del sector Tigre I – La Terraza.

Conclusiones

Un “software” de diseño minero constituye un apoyo de suma utilidad para llevar a cabo el modelamiento y cubicación de un yacimiento.

El desarrollo de esta tarea constituye un proceso iterativo que implica la necesidad de volver a etapas anteriores y efectuar modificaciones, en función de los resultados obtenidos. La disponibilidad de una herramienta como este tipo de “software” permite efectuar estas iteraciones con gran agilidad, optimizando el tiempo y los recursos.

Es importante, para poder aprovechar todas las funciones y obtener eficientemente los mejores resultados, comprender el funcionamiento del “software” y manipular sus comandos correctamente, para tener seguridad de lo que se está haciendo.

Lograr esto es cuestión de práctica y resulta fundamental contar con el soporte de guías, tutoriales y manuales.

Bibliografía

- Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras - Bustillo Revuelta, M. y López Jimeno C. - Madrid 1997.
- Manual de entrenamiento Studio 3 - Sistema para Modelamiento Geológico, Evaluación de Reservas y Diseño Minero (DMS3-DLAC-ENT-0002-1.00). © Datamine Corporate Limited.
- Manual de Entrenamiento Studio 3 para Geología (DMS3-DLAC-ENT-0001-1.00). ©Datamine Corporate Limited 2007.
- Páginas Web:
<http://www.cae.com/en/mining/home.asp>

Programa de actividades en fusión nuclear controlada

FARENGO R., GERVASONI J., MAYER R. E. Centro Atómico Bariloche – Comisión Nacional de Energía Atómica

La fusión nuclear controlada puede constituirse en una de las alternativas más interesantes para la generación de energía eléctrica en gran escala. Nuestro país ha alcanzado logros muy significativos en la utilización de la fisión nuclear para la generación de energía eléctrica y no debe quedar al margen del desarrollo de la fusión nuclear, que posee varias ventajas comparativas. La CNEA, como Institución encargada de la actividad nuclear en el país, debe contar con un programa integral de actividades en fusión nuclear controlada.

The controlled nuclear fusion could be transformed in one of the more interesting alternatives for electricity generation on a great scale. Argentina has major achievements in the utilization of nuclear fission in electricity generation, and ought not to be out in the development of nuclear fusion, which has several comparatives advantages. CNEA, as the institution responsible for nuclear activity in the country, must have a controlled nuclear fusion integral programme.

1. Introducción

La **fusión nuclear controlada** puede constituirse en una de las alternativas más interesantes para la generación de energía eléctrica en gran escala. Esto se debe a su seguridad, al reducido impacto ambiental y a la existencia de cantidades casi ilimitadas de combustible.

El progreso alcanzado a nivel internacional en ambos métodos de confinamiento, confinamiento magnético y confinamiento inercial, es significativo. En el área de confinamiento magnético se está desarrollando el proyecto multinacional ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) que incluye la construcción y operación de un dispositivo experimental que produzca aproximadamente 500 MW de potencia de fusión e incorpore la mayor parte de los desarrollos tecnológicos necesarios para la construcción de un reactor comercial. En el área de confinamiento inercial, los últimos resultados obtenidos en el proyecto NIF (*National Ignition Facility*) han sido alentadores y hay importantes proyectos en marcha en Francia y China.

Nuestro país ha alcanzado logros muy significativos en la utilización de la **fusión nuclear** para la generación de energía eléctrica y no debe quedar al margen del desarrollo de la **fusión nuclear**, que posee varias ventajas comparativas. La CNEA, como Institución encargada de la actividad nuclear en el país, debe contar con un programa integral de actividades en fusión nuclear controlada. La Ley Nacional de la Actividad Nuclear (Ley N° 24.084) actualmente en vigencia indica explícitamente la responsabilidad de la CNEA en el tema (art. 2, inc. m).

Debido a su complejidad, el diseño, construcción y operación de un reactor de fusión para la producción de electricidad, con potencia semejante a la de los reactores de fisión, requiere desarrollos científicos y tecnológicos en muchas áreas. Estas incluyen, entre otras, física de plasmas, materiales, física atómica y molecular, neutrones, producción de tritio, control, seguridad y licenciamiento. La CNEA posee recursos humanos capacitados y experiencia en muchos de estos temas, provenientes fundamentalmente de las actividades en fisión nuclear. Lo que se propone es iniciar un programa integral de actividades en fusión nuclear controlada, que complemente las actividades en fisión nuclear y aproveche las capacidades desarrolladas por la CNEA en esta área. Este programa debería posicionar a la CNEA como referente nacional e internacional en el tema por la calidad de sus investigaciones científicas y el desarrollo de soluciones innovativas.

2. Estado de las investigaciones en fusión nuclear controlada

Para que se produzcan reacciones de fusión es necesario que los núcleos se acerquen lo suficiente como para que la fuerza nuclear (atractiva) sea mayor que la repulsión Coulombiana. Debido a esto, la sección eficaz de la reacción de fusión de deuterio (D) con tritio (T), la más fácil de producir, sólo es significativa a energías mayores a algunos keV. Resulta evidente que a estas energías las colisiones producen la ionización de los átomos de D y T de modo que las reacciones de fusión ocurren en un gas ionizado a alta temperatura (plasma) compuesto por iones D y T, electrones e impurezas.

El plasma pierde energía por conducción, convección y radiación y es necesario reponerla

para mantener su temperatura. Se define entonces el tiempo de confinamiento de la energía (τ_E) como el cociente entre el contenido de energía del plasma (W_p) y la potencia (P_H) que hay que entregarle para mantener su temperatura ($\tau_E = W_p / P_H$). En la situación ideal, conocida como ignición, esta potencia es depositada por las partículas alfa producidas en las reacciones de fusión. Un análisis del balance de potencia de un reactor de fusión muestra que el parámetro conocido como *triple producto de fusión*, $nT\tau_E$, donde n es la densidad del plasma (en partículas por unidad de volumen) y T su temperatura (se redefine la temperatura de modo de incluir la constante de Boltzman $T\tau_E k_B$), debe llegar a valores del orden de $5 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ keVs}$ para alcanzar la ignición. Considerando que el valor de temperatura no puede apartarse mucho de los 10-20 keV se han propuesto dos métodos para alcanzar los valores necesarios del triple producto de fusión.

En el método conocido como *confinamiento magnético* se utilizan campos magnéticos para confinar el plasma y mantenerlo alejado de las paredes de la cámara de reacción. Como la densidad está limitada a valores del orden de 10^{20} m^{-3} , se necesitan valores de τ_E del orden de algunos segundos. Es decir, en confinamiento magnético se tienen n y T aproximadamente fijos por lo que se debe tratar de aumentar el valor de τ_E . En el método conocido como confinamiento inercial se irradia una pequeña pastilla de combustible con pulsos de láseres

o haces de partículas para comprimirla y calentarla. La potencia depositada sobre la pastilla debe ser suficientemente grande como para que en el centro de la misma se alcancen las condiciones necesarias para que se produzcan reacciones de fusión. Como el combustible no se encuentra realmente confinado, sino que se expande a una velocidad limitada solo por su propia inercia cuando finaliza el pulso, el tiempo de confinamiento está limitado y se debe tratar de incrementar la densidad final del combustible.

En los últimos años se han realizado importantes avances en ambas líneas de confinamiento. En confinamiento magnético se ha encontrado cómo reducir el efecto de la turbulencia sobre el transporte y se ha aprendido a controlar algunas de las inestabilidades más peligrosas. Por otro lado, la gran cantidad de información obtenida en los experimentos realizados en dispositivos de diferente tamaño y condiciones de operación, ha permitido formular leyes de escala relativamente confiables para predecir el comportamiento del plasma en dispositivos de mayor tamaño. Esto ha llevado al diseño y construcción (en curso) de un "tokamak" de gran tamaño conocido como ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*). ITER se construye en Cadarache (Francia) y se prevé que produzca 500 MW de potencia de fusión.

La figura 1 muestra una maqueta de ITER y la tabla I algunos de sus parámetros.

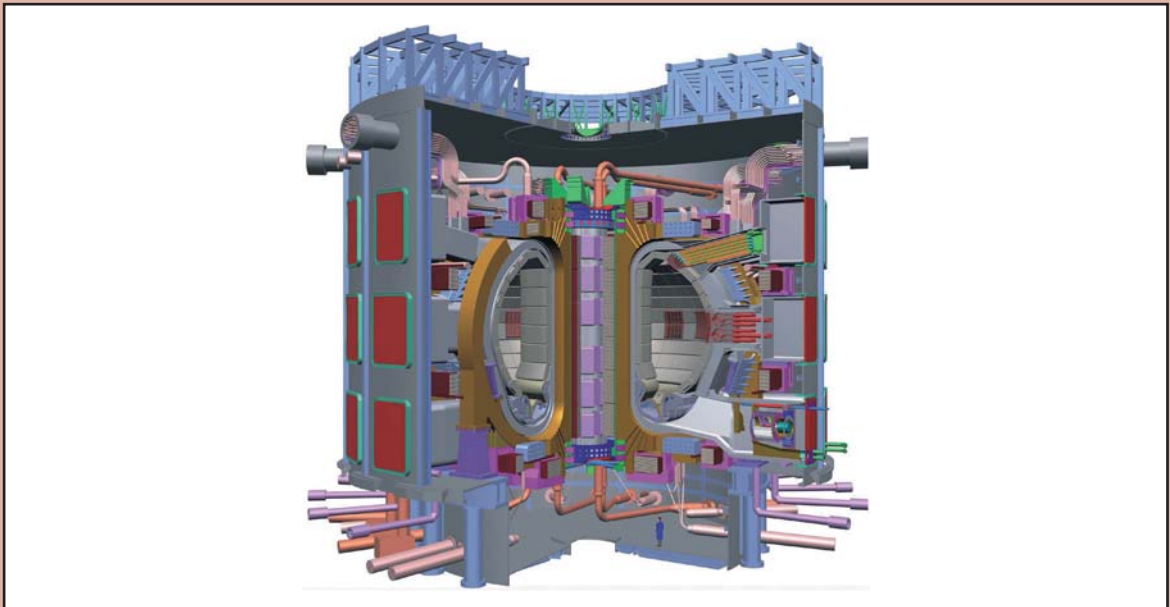


Figura 1. Maqueta del ITER

R (radio mayor)	6.2 m
a (radio menor)	2.0 m
$\frac{b}{a}$ (elongación)	1.7
I (corriente)	15 MA
B0 (campo magnético.)	5.3 T
Flujo neutrónico	0.57 MW/m ²
P _{fus}	500 W
Q	≥10
Pulso	> 400 s
Volumen	837 m ³
Superficie	678 m ²

Tabla 1. Principales parámetros del ITER

En confinamiento inercial los mejores resultados han sido alcanzados en el proyecto NIF (National Ignition Facility) que se encuentra en Livermore (EEUU). En este experimento se utiliza un láser de 500 TW de potencia (el mayor del mundo) para irradiar una pastilla de combustible. Para lograr una mayor uniformidad en la irradiación, el láser se divide en 192 haces que deben converger con

absoluta precisión sobre el blanco. En experimentos recientes se consiguió que la energía liberada por las reacciones de fusión excediera la energía absorbida por el combustible. Esto constituye un logro muy importante pero no significa alcanzar la ignición, porque la energía entregada por el láser es mucho mayor que la depositada en el combustible. La figura 2 muestra NIF y la tabla II sus principales parámetros.



Figura 2. Vista del láser utilizado en NIF

Medio	Nd
Energía	2.0 MJ
Potencia	500 TW
Longitud de onda	1.05-0.35 μ m
Pulso	23 ns
Haces	192

Tabla 2. Principales parámetros de NIF

3. Objetivos del programa

Los objetivos fundamentales del programa propuesto son:

1. Formar recursos humanos en los temas de interés para el desarrollo de la fusión nuclear controlada.
2. Realizar actividades coordinadas de investigación y desarrollo en la mayoría de las áreas relevantes para el desarrollo de reactores de fusión nuclear. Aprovechar la experiencia adquirida en el desarrollo de la fisión nuclear.
3. Participar en proyectos internacionales.
4. Transferir/aplicar los conocimientos desarrollados hacia otras áreas nucleares y no nucleares.

4. Áreas relevantes en las que la CNEA debería (puede) realizar actividades.

Uno de los aspectos fundamentales del programa propuesto es el aprovechamiento de la experiencia y conocimientos de muchos grupos de la CNEA en temas afines, provenientes de sus actividades en fisión.

Física de Plasmas

La física de plasmas es la ciencia básica para el desarrollo de la fusión nuclear controlada. Históricamente, las actividades en fusión nuclear controlada comenzaron con estudios sobre el comportamiento de los plasmas en las condiciones en que se encuentran en el interior de un reactor de fusión y fueron incorporando otras áreas cuando el crecimiento de los dispositivos experimentales lo hizo necesario. Esto es así porque las características de un reactor de fusión quedan determinadas por las condiciones que deben satisfacerse en la cámara de reacción, donde se encuentra el combustible en estado de plasma. Estas condiciones son muy exigentes porque es necesario mantener el combustible a temperaturas superiores a los 100 millones de °C (10 keV) y alejado de toda pared

material. Por otro lado, las condiciones existentes en el plasma definen los flujos de energía, partículas y radiación electromagnética a que se ven sometidas las distintas componentes del reactor, y los métodos necesarios para transformar la energía liberada en las reacciones de fusión en electricidad.

Materiales

Un reactor de fusión requerirá una enorme cantidad de materiales diferentes, entre los que pueden mencionarse: materiales en contacto directo con el plasma, estructurales, superconductores, moderadores, reproductores, refrigerantes, blindaje, etc. Un problema importante para el desarrollo de materiales apropiados es la falta de instalaciones donde puedan probarse en las mismas condiciones a que se verán sometidos en un reactor de potencia.

La CNEA tiene una vasta e importante actividad en materiales, contando con varios grupos de investigación y desarrollo ampliamente reconocidos, tanto a nivel nacional como internacional. Se indican a continuación algunas áreas específicas en las que se requieren nuevos desarrollos.

Materiales en contacto directo con el plasma:

Estos materiales estarán sometidos al bombardeo de los iones que escapan al confinamiento y de los neutrones producidos en las reacciones de fusión. Deben tener baja adsorción de deuterio y tritio, bajo número atómico y ser resistentes al “sputtering”. Para recubrir la cara interna de ITER se ha seleccionado el berilio y para las placas de divertores, que estarán sometidas a un alto flujo de energía, el tungsteno.

Materiales estructurales: En ITER se utilizarán fundamentalmente aceros pero también se trabaja activamente en la utilización de materiales compuestos. Se trata de producir aleaciones resistentes al daño por neutrones y que decaigan rápidamente una vez cerrado el reactor. Los aceros con alto contenido de boro han recibido mucha atención por su interés, tanto para reactores de fusión como para reactores avanzados de fisión (cuarta generación).

Moderadores: Los neutrones se llevan el 80% de la energía producida en la reacción D-T por lo que es necesario utilizar un moderador que extraiga esta energía para utilizarla en un ciclo térmico. Como además es necesario producir tritio dentro del reactor a partir de la reacción de los neutrones con litio, se ha pensado en combinar ambas funciones en un único material.

Superconductores: Las espiras que producen los campos magnéticos necesarios para confinar el plasma deben ser superconductoras para evitar que la energía perdida por disipación Ohmica afecte el balance energético del reactor. Lamentablemente, no existen por el momento materiales superconductores de alta temperatura crítica capaces de soportar los intensos campos magnéticos necesarios.

Física atómica y molecular

Las impurezas desprendidas de las paredes pueden penetrar en el plasma, produciendo la dilución del combustible y la pérdida de potencia por emisión de radiación. Por otro lado, uno de los métodos más eficientes para calentar el plasma consiste en la inyección de haces neutros de D o T, que deben ionizarse debido a colisiones con los iones y electrones del plasma para quedar confinados por el campo magnético. Finalmente, varias técnicas de diagnóstico se basan en la detección de la radiación emitida en la interacción entre los iones del plasma y átomos neutros de D o T e impurezas. Resulta pues fundamental estudiar los procesos de interacción de los iones D y T con D y T neutros e impurezas. La CNEA cuenta con profesionales de amplia experiencia en estos temas y también con aceleradores capaces de producir haces de iones con las energías necesarias.

Neutrones

En la fusión de un núcleo de deuterio con uno de tritio se produce un neutrón de 14 MeV. Estos neutrones deben ser frenados para extraer su energía y aprovechados para producir tritio dentro del reactor, a partir de litio. Por otro lado, las mediciones de distribución temporal y espacial del flujo de neutrones proporcionan información sobre las condiciones en el plasma.

Tritio

Como se indica más arriba, el tritio debe ser producido dentro del reactor a partir de litio. La producción, extracción y re-inyección (como

combustible) del tritio representa un serio problema, que debe ser resuelto satisfactoriamente para garantizar la seguridad del reactor. Esto incluye el desarrollo de materiales con litio que puedan utilizarse en el “blanket” moderador y reproductor y el estudio de la difusión del tritio en dichos materiales.

Reactores híbridos fusión-fisión

Estos reactores utilizarían los neutrones producidos en las reacciones de fusión para fisurar material fértil, subcrítico, que lo rodea. La complementación entre la fusión y la fisión es evidente y resultaría en reactores inherentemente seguros porque en caso de accidente las reacciones de fusión se detienen y con eso también las de fisión. Como ventaja adicional, los requerimientos para la generación de neutrones de fusión son mucho menores que para un reactor “puro” de fusión.

Termohidráulica

La energía depositada por los neutrones en el moderador debe ser extraída para su aprovechamiento. El grupo de termohidráulica de la CNEA posee amplia experiencia en las áreas de Mecánica de Fluidos y Transferencia de Energía y Masa, mayoritariamente aplicadas a remoción de calor en reactores de fisión, y realiza estudios experimentales sobre problemas de circulación forzada, cavitación, convección natural, ebullición y fuerza boyante.

Control

El control del estado del plasma resulta crítico en un reactor de fusión. Las inestabilidades, que pueden acabar con el confinamiento y producir serios daños al reactor, se desarrollan en tiempos muy cortos por los que se requieren mecanismos de control que actúen con gran rapidez y resistan un ambiente muy hostil.

Seguridad y licenciamiento

Un reactor de fusión constituye una instalación nuclear y como tal debe satisfacer estrictas normas de seguridad. La construcción de ITER requirió del desarrollo de protocolos específicos pero aún queda mucho por hacer en este tema.

5. Acciones necesarias para cumplir los objetivos propuestos

Se presentan a continuación las acciones que se considera necesario realizar para alcanzar los objetivos propuestos.

A - Formar recursos humanos

Resulta claro que ninguna actividad de investigación y desarrollo puede llevarse a cabo si no se cuenta con recursos humanos capacitados en los distintos temas de interés. La CNEA cuenta con varios Institutos de excelente nivel académico donde se forman profesionales que podrían participar en el programa. Desde hace más de 15 años se dictan cursos de post grado sobre fusión nuclear y física de plasmas en el Instituto Balseiro y se ofrecen trabajos de maestría y doctorado en estos temas. Para asegurar una adecuada provisión de profesionales jóvenes interesados en el tema, estas actividades deben ampliarse, incluyendo otras áreas de interés y otros Institutos. Por otro lado, debe estimularse y facilitarse la formación/especialización de aquellos agentes que, poseyendo amplia experiencia en temas relacionados en el área de fisión nuclear, quieran orientar parte de sus actividades hacia temas de fusión nuclear.

B - Realizar investigación y desarrollo en fusión nuclear controlada

La ejecución de un programa coordinado de investigación y desarrollo en las áreas consideradas más relevantes y accesibles requiere de varias acciones complementarias:

i - Ampliación y consolidación del área específicamente dedicada a fusión nuclear y física de plasmas

El Grupo de Fusión Nuclear y Física de Plasmas de la Gerencia de Física del Centro Atómico Bariloche trabaja desde hace muchos años en temas de física de plasmas aplicada a reactores de fusión y posee una visión global de las necesidades y dificultades asociadas al desarrollo de los reactores de fusión. Este grupo debe ser ampliado, equipado y dotado de suficiente espacio para que pueda incorporar nuevas líneas de trabajo y asesorar a otros grupos que quieran sumarse al programa.

ii - Aplicación de los conocimientos y experiencia adquiridos en el desarrollo de la fisión nuclear a la fusión nuclear

Las áreas consideradas relevantes y accesibles fueron presentadas más arriba. Se debe fomentar el interés de los grupos que se encuentran capacitados para participar en el programa y asegurar un adecuado financiamiento para la realización de actividades en fusión nuclear. También es importante fomentar la comunicación entre grupos dedicados a distintos temas de modo que todos tengan una visión global de las características de un reactor de fusión y los problemas asociados a su desarrollo.

C - Conformar el Comité Coordinador del Programa de Fusión Nuclear Controlada

Para avanzar en un programa integral de actividades como el propuesto es necesaria la participación coordinada de muchos sectores de la CNEA. Para estimular dicha participación se propone establecer un esquema de subsidios internos que financie los gastos asociados a las nuevas actividades.

Desde el punto de vista organizativo, se ha conformado el Comité Coordinador del Programa de Fusión Nuclear Controlada. Este comité está formado por un representante de cada Gerencia de Área y su misión es evaluar los proyectos presentados por los sectores interesados, aprobar la asignación de fondos específicos y vigilar la marcha general del programa.

D - Establecer convenios de cooperación internacional

Debido a la complejidad y costo de las investigaciones sobre fusión nuclear controlada la cooperación internacional resulta imprescindible. El más claro ejemplo de esto lo constituye el proyecto ITER, en el que participan la Comunidad Europea, Japón, Rusia, EEUU, China, Corea e India. Los acuerdos de cooperación pueden involucrar temas puntuales o programas completos. Se considera deseable la concreción de acuerdos de cooperación a nivel regional, fundamentalmente con Brasil, y con países que participen en el proyecto ITER. La participación directa en ITER no parece ser una opción razonable/posible por el momento. Solo sería posible si se plantea a nivel regional y media una decisión política y apoyo al más alto nivel del Poder Ejecutivo Nacional.

E - Implementar una adecuada difusión de las actividades de la CNEA en fusión nuclear controlada.

Para fomentar la participación de los distintos sectores y de los egresados de los Institutos de la CNEA es necesario dar amplia difusión interna a las actividades en fusión nuclear controlada. También es importante que otras Instituciones del país y el público en general sean informados de las actividades de la CNEA en el tema, sus alcances y expectativas.

Finalmente, es necesario que los investigadores participantes en el programa puedan presentar sus resultados en reuniones científicas internacionales y organismos técnicos.

Trabajo presentado en la XXXX Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 2 al 6 de diciembre de 2013

La Sra. Presidenta de la Nación inaugura la nueva biblioteca y laboratorios del Instituto Balseiro

El 6 de julio, la Sra. Presidenta de la Nación, Dra. Cristina Fernández de Kirchner, inauguró el nuevo edificio para la Biblioteca Leo Falicov del Instituto Balseiro. Estuvieron presentes el gobernador de Río Negro, Alberto Weretilneck; el ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación Dr. Lino Barañao, la intendenta de la ciudad de San Carlos de Bariloche, María Eugenia Martini; el rector de la Universidad de Cuyo, Dr. Arturo Somoza, y las máximas autoridades de la CNEA, Lic. Norma Boero e Ing. y Mauricio Bisauta. Tras recorrer el nuevo edificio para la Biblioteca y el reactor escuela RA-6, la Presidenta de la Nación destacó el prestigio del "Instituto Balseiro, orgullo y emblema de todos los argentinos".

La Biblioteca, cuyo nuevo edificio fuera inaugurado, lleva el nombre Leo Falicov en honor a un físico brillante egresado del Instituto Balseiro. En sus modernas instalaciones alberga 22.000 libros que constituyen el acervo actual del Centro Atómico Bariloche y del mismo Instituto. Asimismo, se encuentran allí las colecciones de revistas científicas (aproximadamente unos 850 títulos en papel y 11.000 con acceso electrónico) y los libros y publicaciones de la Fundación Bariloche, institución que realiza sus actividades dentro del citado Centro Atómico. A esta documentación se le suma un Repositorio de la producción científica generada en el Centro Atómico y el Instituto, incluyendo las tesis de doctorado y maestrías realizadas.

La Biblioteca Leo Falicov es reconocida internacionalmente a través de los servicios que brinda de manera electrónica para instituciones, profesionales, investigadores y estudiantes de todo el mundo.

Frente al nuevo edificio de la Biblioteca, el Instituto Balseiro presentó sus nuevos laboratorios cuyas instalaciones serán destinadas en forma casi exclusiva a la enseñanza de la Física Experimental en los cursos de grado del Instituto, para las áreas de ciencias e ingenierías.

La Fundación Konex distinguió a científicos e instituciones vinculados a la CNEA

El físico Juan Martín Maldacena, graduado en el Instituto Balseiro, el nanotecnólogo Galo Soler-Illia, que trabaja en el Centro Atómico Constituyentes y la Ing. Teresa Pérez, quien se desempeña como Profesora en el Instituto Sábató, fueron galardonados por la Fundación Konex en el rubro "Ciencia y Tecnología". Por su parte, el Observatorio Pierre Auger recibió una mención especial.

El jurado de notables estuvo integrado por más 20 personalidades de la ciencia y de la divulgación y fue presidido por el físico Mario Mariscotti, quien se desempeñó 28 años en la CNEA.

En la actualidad, Juan Martín Maldacena es uno de los referentes a nivel mundial de la teoría de cuerdas y de la gravedad cuántica, a partir de las cuales se busca vincular la relatividad general y la mecánica cuántica.

Galo Soler-Illia trabajó en la Universidad de París VI gracias a una beca del CONICET. Volvió a la Argentina en 2003, y formó un grupo de investigación en química de nanomateriales en el Centro Atómico Constituyentes, en el que hoy se forman como investigadores unas 15 personas.

En el área de Ingeniería Industrial, Química, Ambiental y de Hidrocarburos, el reconocimiento fue para la Ing. Teresa Pérez quien se desempeña como Profesora Titular de la asignatura Termodinámica de los Materiales de la Maestría en Ciencia y Tecnología, mención Materiales, del Instituto Sabató.

Por otro lado el Observatorio Pierre Auger recibió una Mención Especial a los Hechos Destacados de la Década. Concebido en 1995, su construcción comenzó en el 2000 y concluyó el 15/11/2008. El Observatorio Pierre Auger es el instrumento más grande y más preciso del mundo para estudiar rayos cósmicos de las más altas energías y la CNEA es uno de los principales participantes del proyecto Pierre Auger. Ubicado en los departamentos de Malargüe y San Rafael (provincia de Mendoza), cuenta con un sistema de detección híbrido (1.600 detectores de superficie y 27 telescopios de fluorescencia), cubriendo un área de 3.000 km². Participan más de 500 científicos y técnicos de más de 80 instituciones pertenecientes a 18 países.

En Argentina, es financiado por la Comisión Nacional de Energía Atómica y el Gobierno de la Provincia de Mendoza. Las observaciones efectuadas y los resultados obtenidos con el Observatorio han dado lugar a más de 40 publicaciones científicas de alto impacto y a 184 tesis doctorales (14 en Argentina).

La CNEA en Tecnópolis

La CNEA se presentó por tercer año consecutivo en la mega exposición Feria de Ciencia, Arte y Tecnología, Tecnópolis con iniciativas que permiten conocer la contribución de la energía nuclear al desarrollo del país.

El espacio, a través de una iniciativa didáctica y entretenida, propuso descubrir la contribución de la energía nuclear al desarrollo del país, recorriendo los avances llevados a cabo en la Argentina desde 1950.

El objetivo de la muestra fue entender por qué la Argentina es uno de los pocos países del mundo con capacidad de desarrollar el ciclo de combustible nuclear, y cómo repercutió positivamente en el sector la reactivación en 2006 del Plan Nuclear por el Gobierno Nacional.

Para explicar la complejidad del ciclo del combustible nuclear se preparó especialmente una maqueta donde se podía realizar un recorrido que iba desde la exploración del uranio hasta las aplicaciones en reactores de potencia o de investigación.

El “stand” contó con un microcine 3D donde se proyectó el audiovisual del Proyecto Carem, una central nuclear desarrollada íntegramente en la Argentina, con medidas de seguridad únicas en el mundo, que producirá 25 megavatios eléctricos. En el espacio del organismo en Tecnópolis se presentó el Proyecto RA 10, una iniciativa conjunta entre Argentina y Brasil para construir dos reactores similares en ambos países, que permitirán ampliar las capacidades de fabricación y exportación de radioisótopos utilizados para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades complejas como el cáncer.

Así mismo, se llevó a cabo el curso-taller “Laboratorio Cero”. El Laboratorio Cero, dictado desde el año 1987 está dedicado a jóvenes estudiantes interesados por el conocimiento científico. Además, la CNEA presentó en la mega muestra “¿De qué están hechas las cosas?”, un recorrido por los átomos, moléculas, líquidos y sólidos.

CNEA en COPUCI 2013

La CNEA participó en el 3er Congreso Internacional de Comunicación Pública de la Ciencia (COPUCI 2013), que se realizó en la Facultad de Ciencia Política y Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional de Rosario, en el marco de su 40º aniversario. El Congreso tuvo como eje el debate e intercambio de experiencias, la problemática de la comunicación pública de la ciencia entendida como el encuentro entre la ciencia y la sociedad, la promoción de la cultura científica y el desarrollo de las sociedades actuales en sus dimensiones democráticas, de bienestar, justicia, equidad y de preservación del medio ambiente.

En este marco, el COPUCI reunió a destacados actores que abordaron desde el campo teórico y práctico, la relación ciencia, tecnología y sociedad con diferentes disciplinas y enfoques. Se convocó a docentes, investigadores, científicos, periodistas, comunicadores, realizadores, productores, educadores, trabajadores de museos, egresados y estudiantes interesados en el área de la comunicación pública de la ciencia a participar como expositores presentando sus propuestas de trabajo. La CNEA participó no sólo como auspiciante del evento sino también mediante exposiciones sobre la comunicación como herramienta de legitimación de las políticas públicas en materia de ciencia y tecnología, la capacitación docente en tecnología nuclear y la producción de contenidos para la Feria de Ciencia, Arte y Tecnología: Tecnópolis, en el tema “El ciclo del combustible nuclear como concepto integral de comunicación”.

Reunión técnica internacional sobre aspectos económicos y experiencia operacional de combustibles de alto quemado

La CNEA y el Organismo Internacional de Energía Atómica organizaron en Buenos Aires, entre el 26 y el 29 de noviembre, una reunión técnica internacional sobre los aspectos económicos y la experiencia operativa con combustibles con quemado extendido en reactores de potencia (PWR, BWR, VVER, PHWR), con la participación de especialistas extranjeros y locales de distintas organizaciones que hacen a la actividad nuclear en la Argentina. Además de los temas mencionados previamente, en esta reunión también tuvieron cabida los aspectos del desarrollo de materiales, el diseño y fabricación de combustibles, estudios y simulación de comportamiento en servicio, análisis de “performance”, almacenamiento de combustibles gastados, utilización de combustibles avanzados para extender el quemado y aspectos regulatorios.

Calidad en diagnóstico nuclear

La CNEA, a través del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson, organizó en Buenos Aires las Jornadas de Aseguramiento de la Calidad en Tomografía Computada. Estas jornadas – dirigidas a médicos especialistas en diagnóstico por imágenes, físicos médicos y técnicos – se realizaron en el marco del Programa de Protección Radiológica del Paciente de la CNEA, con el objetivo de que los equipos estén en las mejores condiciones posibles, el personal esté capacitado al máximo nivel y la calidad del estudio sea la mayor posible, minimizando el riesgo radiológico para el paciente.

1° Jornada de Protección Radiológica del Paciente

El 13 de agosto, La CNEA llevó a cabo la 1° Jornada de Protección Radiológica del Paciente en el Hospital General de Agudos Carlos G. Durand, en el marco de las actividades programadas por el Plan Estratégico 2010-2019 de la Institución. De la jornada, que contó con el apoyo de la Sociedad Argentina de Radioprotección y la Sociedad Argentina de Radiología, participó una concurrida audiencia formada por médicos de diversas áreas, técnicos radiólogos y licenciados en imágenes, enfermeros, estudiantes, bioingenieros, licenciados en higiene y seguridad, odontólogos y físicos médicos.

Los temas abordados fueron: Introducción a la Protección Radiológica en Medicina; Efectos biológicos de la radiación y resultados de estudios epidemiológicos; Nuevas Normas Internacionales de Seguridad Radiológica; Programa de Protección Radiológica del Paciente y justificación de estudios radiológicos; Protección radiológica en tomografía computada, mamografía, radiología general, odontología e intervencionismo; Protección radiológica en pediatría; y Proyecto C.U.R.I.E. (Concientización Uso Radiaciones Ionizantes Emitidas), en relación con la protección radiológica en las prácticas médicas que involucren el uso de radiación ionizante, destacando entre ellos la importancia y el interés de la audiencia en la justificación de los estudios radiológicos y, particularmente, la protección radiológica en pacientes pediátricos. Asimismo, se debatió sobre la importancia de la concientización del tema en los médicos residentes, quienes se encuentran en una etapa de formación y deben incorporar los conocimientos necesarios para protegerse como trabajadores así como para proteger a sus pacientes.

Según el Plan Estratégico 2010-2019 del organismo, con el Programa de Protección Radiológica del Paciente que CNEA desarrolla, se busca optimizar las prácticas médicas con radiaciones ionizantes a efectos de disminuir tanto como sea posible la dosis por radiación debido al tratamiento y/o radiodiagnóstico en pacientes y el personal ocupacionalmente expuesto, minimizando la probabilidad de eventuales accidentes.

Reunión Técnica Internacional sobre Caracterización de Residuos Radiactivos

La CNEA llevó a cabo, entre el 21 y el 25 de octubre, la Reunión Técnica sobre Caracterización de Residuos Radiactivos, en el marco del Proyecto de Cooperación Técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica. El encuentro, que se desarrolló en los Centros Atómicos Constituyentes y Ezeiza, contó con la presencia de expertos provenientes de Rusia, Bélgica y Reino Unido y personal de Nucleoeléctrica S.A. y de la Autoridad Regulatoria Nuclear.

Las actividades incluyeron visitas a las instalaciones del Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos y una serie de exposiciones y mesas redondas, en las que se presentaron y debatieron diversas metodologías para la caracterización de los residuos radiactivos generados en la Argentina.

Durante los últimos años, a partir del relanzamiento del Plan Nuclear Argentino, nuestro país ha volcado esfuerzos y recursos a incrementar la producción de electricidad nuclear. Junto con la ampliación del parque nucleoelectrico es previsible una creciente generación de residuos radiactivos. La correcta caracterización de los mismos, junto con la confección del inventario de radionucleidos y de las características fisicoquímicas de esos residuos, resultan claves para garantizar la seguridad de la gestión.

Nueva Celda de Producción y Calibración en el Centro Atómico Ezeiza

Las máximas autoridades de la CNEA, su Presidenta Lic. Norma Boero y Vicepresidente Ing. Mauricio Bisauta, inauguraron la nueva "Celda de Producción y Calibración (CPC)" de la Planta Industrial de Producción de Fuentes de Cobalto-60 de la empresa asociada DIOXITEK S.A., ubicada en el Centro Atómico Ezeiza. El cobalto-60 se produce en la Central Nuclear de Embalse, siendo la Argentina el tercer productor mundial de este radioisótopo que se emplea en el campo de la salud, en la cobaltoterapia y como fuentes industriales. Para poder ser utilizado en forma eficiente y segura, sin riesgo de contaminación para las personas o el medio ambiente, es procesado en la citada Planta. El proceso productivo consiste en un doble encapsulado de acero inoxidable a prueba de pérdidas y resistente a la corrosión, llamado fuente sellada.

En esta nueva celda se producirán y calibrarán fuentes para gammagrafía de iridio-192 (ir-192), fuentes industriales selladas de varios modelos, fuentes selladas médicas de cobalto-60 y cápsulas interiores médicas varias.

Primer Encuentro Regional de Comunicadores del Programa ARCAL

En la segunda semana de noviembre se realizó en Buenos Aires el primer “Curso de Capacitación a Comunicadores de la Región de América Latina: Aplicaciones Nucleares y Comunicación Estratégica”, en el marco del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL). El encuentro contó con la presencia de autoridades de la CNEA, funcionarios de ARCAL, expertos internacionales y más de 50 representantes de Perú, Paraguay, Panamá, Uruguay, Costa Rica, Guatemala, El Salvador, México, Cuba, Brasil, Chile, Venezuela, Ecuador, Nicaragua y la Argentina y tuvo como objetivo “fortalecer la estructura comunicacional de ARCAL y de los proyectos que éste realiza, mediante la incorporación de herramientas y pautas de comunicación”.

Encuentro de jóvenes en el Instituto Sabato

Con motivo de su 20 aniversario, el Instituto de Tecnología Prof. Jorge Sabato convocó a participar en un “Encuentro de Jóvenes” que se realizó el 13 de septiembre en el Centro Atómico Constituyentes. Algunos de los temas que fueron abordados por los egresados del Sabato son la valoración personal de la capacitación recibida en el instituto, sus experiencias laborales y de desarrollo profesional, y sus expectativas futuras. Luego se abordaron “Propuestas para jóvenes emprendedores”, en una presentación a cargo de la Fundación Innovación y Tecnología de la Universidad Nacional de San Martín, creada con el fin de contribuir a la promoción y fomento de nuevas actividades científico-tecnológicas en el sector productivo.



Mutual Cnea
cumplió ya 33 Años
acompañando a la
Actividad Nuclear

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

14 DELEGACIONES EN TODO EL PAÍS
MÁS DE 1800 ASOCIADOS
681 COMPLEMENTOS JUBILATORIOS Y
530 COMPLEMENTOS PENSIONARIOS
OTORGADOS VIGENTES

BENEFICIOS PARA LOS ASOCIADOS
Complementos jubilatorio o pensionario
Créditos hipotecarios, personales y otros
Subsidios por casamiento,
nacimiento/adopción o fallecimiento
Descuentos en comercios y hoteles
adheridos

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

**MUTUAL DEL PERSONAL DE
LA COMISIÓN NACIONAL DE
ENERGÍA ATÓMICA**
**FONDO COMPENSADOR DE
LA ACTIVIDAD NUCLEAR**

Administración Central:
Tel/Fax: 011-4701-0355 / 5059
11 de septiembre N° 4366/68
(C1429BJF) C. A. de Buenos Aires
Info @mutualcnea.com.ar

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

COMBUSTIBLES NUCLEARES ARGENTINOS S.A. (CONUAR)

CONUAR fue creada por Decreto N° 1719/81. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde el 33,33% a la CNEA y el 66,67% restante a la empresa privada SUDACIA S.A., estando su planta de producción 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 Av. Cmte. Luis Piedrabuena 4950 (R8403CPV) - San Carlos de Bariloche - Río Negro - Argentina - Teléfono: (54 - 2944) 4409 300 - Fax: (54 - 2944) 4409 336 - <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 suscrito 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