

REVISTA ^{DE} _{LA} CNEA

UNA PUBLICACIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Año XVIII – Número 71-72 – Julio/Diciembre 2018



LABORATORIO DE ROBÓTICA
CENTRO ATÓMICO BARILOCHE



Guía para autores de artículos

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

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

Formato: Serán preparados en Word for Window ® y la página será tamaño especial 196 mm. X 275 mm. Los márgenes serán: izquierdo y derecho 1,5 cm., superior 1,9 cm. e inferior 2 cm. El tipo de letra será Arial de 10 pt. No deberán sobrepasar las doce páginas.

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

Datos del (los) autores:

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

Resúmenes de los artículos:

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

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

Las figuras (fotografías, gráficos, diagramas, ilustraciones y mapas) deben numerarse secuencialmente en números arábigos y estar acompañadas por una leyenda explicativa. Las tablas también deben numerarse y tener títulos apropiados. Tanto las figuras como las tablas deben referenciarse en el texto. Su envío se hará en lo posible en formato jpg o bmp.

Los aportes suministrados por otros deben ser claramente reconocidos. Los documentos citados en el texto principal se incluirán en una lista de referencias al final del artículo.

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

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

Erratas: Las correcciones y/o comentarios a que dieran lugar se publicarán en la edición posterior en la sección "Aclaraciones y comentarios".

LA REVISTA DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA



AÑO XVIII – NÚMERO 71/72 – JULIO/DICIEMBRE 2018

editorial

El Comité Editorial se complace en presentar el número 71/72 de la Revista de la CNEA con el que completa su décimo octavo año de existencia. Este número presenta trabajos enmarcados en el área de la generación nucleoelectrónica energética. También se incluye un trabajo que responde a la inquietante temática del cambio climático.

Las evidencias del cambio climático antropogénico son irrefutables. Sin embargo, la exagerada confianza puesta en la autorregulación del mercado energético y en las energías renovables (principalmente solar y eólica) por sobre las energías limpias (las anteriores más la nucleoelectricidad) comprometen su cumplimiento. En el trabajo incluido en el primer artículo se muestra la relación entre el aumento de la temperatura global de los últimos 267 años con la evolución de las actividades humanas, se analizan las consecuencias globales y locales de dicho cambio (si no se lo combate o mitiga), y se plantean las alternativas existentes y su disponibilidad para disminuir la generación eléctrica fósil.

La planta de producción de agua desmineralizada desempeña un rol importante en el funcionamiento de una Central Nuclear. En consecuencia, es condición necesaria asegurar la disposición y el suministro de agua en cantidad y calidad para las demandas de la central. Es por ello que, en el contexto del diseño y construcción de una nueva central nuclear, estudiar y analizar las diferentes alternativas de tecnologías a implementar en una planta de agua adquiere una considerable relevancia. Esto se debe no solo a razón de optimizar el consumo energético, aditivos químicos y otros consumibles que pudiera tener a los efectos de mantener en operación la planta, sino también en el aspecto de confiabilidad y disponibilidad que la misma puede ofrecer a la central. El segundo artículo presenta un trabajo que tiene por objeto determinar entre las tecnologías a implementar aquella que presente un mayor grado de robustez en su operación y, por lo tanto, una mayor confiabilidad en la especificación en cantidad y de calidad química del producto.

Dentro del proyecto CAREM (Concepto Argentino de Reactor Modular) se busca automatizar las tareas de inspección y mantenimiento de los tubos de los generadores de vapor. Esto tiene por objetivo disminuir las tasas de dosis de los operarios, como así también disminuir los tiempos empleados para estas tareas. Como parte de la automatización se emplea un brazo robótico industrial el cual presenta, como una de sus principales características, un alcance limitado que garantiza la ausencia de colisiones con elementos del entorno. Sin embargo, el alcance limitado resulta restrictivo para ciertas tareas, derivando en la necesidad de diseñar una herramienta que lo aumente. En el tercer artículo se presenta un diseño de dicha herramienta de manipulación y el conjunto de los requerimientos y soluciones propuestas para las herramientas que interactúan con la misma.

El cuarto artículo cubre un aspecto de gran interés y considerable futuro potencial: el desarrollo de un método eficiente para la extracción de uranio del agua de mar. En promedio, el uranio se encuentra disuelto en el agua de mar en una concentración de 3,3 ppb; si bien esta concentración es varios órdenes de magnitud menor que la del uranio en sus fuentes minerales, implica que en los océanos que cubren el planeta existe una reserva potencial de uranio mil veces superior a la suma de todas las reservas minerales conocidas en el mundo.

Como es habitual se incluye la sección “CNEA al Día” con las noticias institucionales más destacadas del semestre.

El Comité Editorial invita una vez más 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 al mismo.



Foto de tapa

Laboratorio de Robótica
del Centro Atómico
Bariloche

autoridades nacionales

Presidente de la Nación
Ingeniero Mauricio Macri

Secretario de Energía
Contador Gustavo Sebastián Lopetegui

Subsecretario de Energía Nuclear
Licenciado Julián Gadano

autoridades institucionales

Presidente
Licenciado Osvaldo Calzetta Larrieu

Vice-Presidente
Licenciado Alberto Lamagna

Gerente General
Ingeniero Enrique Cinat

comité asesor

Doctor Carlos Aráoz

comité editorial

Ingeniero Pascual Francisco Aguirre
Investigador Consulto Roberto Mario Ornstein

Diseño de tapa División Diseños de Contenidos
Departamento de Prensa – Gerencia de
Comunicación Social
Traductora Malena Marino
Impresión: VCRE Gráfica S.A.
SIN: 1666-1036

sumario

Editorial	3
Autoridades y sumario	4
Dr. Manuel Ángel Mondino	5
Panorama del cambio climático y el papel de las energías limpias	6
Análisis de confiabilidad y disponibilidad de tecnologías de producción y suministro de agua de baja conductividad para una nueva Central Nuclear	18
Diseño de prototipo de Herramienta de Manipulación y Extensión para inspección y mantenimiento de los GVs del CAREM	26
Extracción de uranio de agua de mar mediante extractante en soporte solido	37
CNEA al Día, noticias institucionales	45

Nota: En la página web de la CNEA (www.cnea.gob.ar), en la sección “Mediateca”, se puede acceder a este número y al índice general temático de los artículos publicados en la totalidad de los números de la Revista de la CNEA.

Dr. Manuel Ángel Mondino (1937 – 2019)

Con profundo pesar la comunidad nuclear en general y la CNEA en particular han tomado conocimiento del fallecimiento del investigador científico y tecnológico Dr. Manuel Ángel Mondino, quien se desempeñó como Presidente del Directorio de la Comisión Nacional de Energía Atómica entre julio de 1989 y septiembre de 1994.



"El Dr. Manuel Ángel Mondino nació en la ciudad de Santa Fe, el 6 de marzo de 1937. Cursó sus estudios secundarios en el Liceo Militar General Belgrano integrando la segunda promoción de dicho instituto educacional. Comienza la carrera de Ingeniería en la Universidad Nacional de Córdoba y en 1956 ingresa al entonces Instituto de Física de San Carlos de Bariloche, hoy Instituto Balseiro, donde en 1959 se recibe de Licenciado en Física integrando la segunda promoción de egresados. En los años siguientes obtuvo el Doctorado en Física, especializándose en el área de Ciencia de los Materiales. En el marco de esa especialidad se desempeñó en la Comisión Nacional de Energía Atómica durante más de treinta años, desarrollando una extensa y brillante carrera profesional que abarcó los campos de la investigación, el desarrollo y la docencia, ocupando diversos cargos hasta alcanzar el más alto nivel gerencial y, finalmente, en 1989, la Presidencia del Directorio que desempeñó hasta 1994."

Durante su presidencia caben destacar los siguientes hechos que constituyeron hitos en el desarrollo nuclear argentino:

- Inauguración del Laboratorio de Celdas Calientes en el Centro Atómico Ezeiza.
- Reinauguración del reactor de investigación y producción RA-3 del Centro Atómico Ezeiza con un núcleo de elementos combustibles de bajo enriquecimiento.
- Inauguración de la Escuela de Medicina Nuclear y Radiodiagnóstico en la Ciudad de Mendoza.
- Inauguración de la Planta Industrial de Agua Pesada en la localidad de Arroyito, provincia del Neuquén.
- Creación del Instituto de Tecnología Prof. Jorge Sabato en el Centro Atómico Constituyentes.
- Inauguración del Ciclotrón de Producción de Radioisótopos en el Centro Atómico Ezeiza.

Así mismo, el Dr. Mondino se desempeñó como Gobernador Titular por la Argentina en la Junta de Gobernadores del Organismo Internacional de Energía Atómica entre 1989 y 1994, siendo elegido Presidente de la misma para el período 1991-1992. También se desempeñó como Delegado Titular de nuestro país ante las Conferencias Generales de ese organismo internacional celebradas en los años 1989 a 1993.

Al Dr. Mondino le cupo un rol significativo en la elaboración y ejecución de la política nacional de no proliferación de las armas nucleares, teniendo una participación activa en las siguientes acciones:

- Declaración Presidencial Conjunta Argentino Brasileña sobre política nuclear común en Foz de Iguazú, Brasil.
- 18 de julio de 1991: Firma en Guadalajara (México) del Acuerdo entre los gobiernos de la Argentina y del Brasil para el uso exclusivamente pacífico de la energía nuclear, (Acuerdo de Guadalajara).
- Firma en Viena (Austria) del Acuerdo Cuatripartito entre la Agencia Brasileño – Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares, los gobiernos de Argentina y Brasil y el Organismo Internacional de Energía Atómica.
- Inauguración de la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC), creada por el Tratado de Guadalajara, en Río de Janeiro, Brasil, desempeñándose entre 1992 y 1994 como Delegado Titular Argentino ante esa Agencia.
- Ratificación del Tratado para la proscripción de las armas nucleares en América Latina y el Caribe (Tratado de Tlatelolco).

Su pérdida enluta los corazones de cuantos tuvieron el privilegio de conocerlo, de trabajar con él y de aprender de él, que guardarán un recuerdo imborrable de su personalidad que despertó aprecio y un profundo respeto.

Panorama del cambio climático y el papel de las energías limpias

TABOADA H. – Gerencia del Ciclo de Combustible Nuclear – Comisión Nacional de Energía Atómica

Las evidencias del cambio climático antropogénico son irrefutables. El Acuerdo de París (COP21, 2015), refrendado recientemente por una mayoría de países representando a una mayoría de habitantes, aún con la defección de Estados Unidos, está entrando en funciones. Tiene el objetivo de limitar el aumento de temperatura global promedio por debajo de 2 °C y comprometer esfuerzos para limitar ese aumento a 1,5 °C por sobre los niveles de la era preindustrial. Sin embargo, la exagerada confianza puesta en la autorregulación del mercado energético y en las energías renovables (principalmente solar y eólica) por sobre las energías limpias (las anteriores más la nucleoelectricidad) comprometen su cumplimiento. Esto es debido a los radicales cambios que deben cumplirse cuanto antes en la generación eléctrica, el transporte y el comercio internacional.

En este trabajo se muestra la relación entre el aumento de la temperatura global de los últimos 267 años con la evolución de las actividades humanas. Se analizan las consecuencias globales y locales de dicho cambio (si no se lo combate o mitiga). Se plantean las alternativas existentes y su disponibilidad para disminuir la generación eléctrica fósil. Finalmente se analiza el parque eléctrico nacional. Se presenta una propuesta para que la energía nuclear sea la energía de base necesaria para el desarrollo de nuestro país y el cumplimiento de los objetivos globales de reducción del cambio climático.

Overview on Climate Change and the Role of Clean Energies

Evidence of anthropogenic climate change is irrefutable. COP21 Paris Agreement, signed by a country majority representing an inhabitant majority, even with USA defection, is taking place. It has the aim to limit medium global temperature rising below 2 °C and commit efforts to limit that rise to 1,5 °C over Pre-Industrial Era levels. However, extreme confidence on the auto-regulation of the energetic market and renewable energies (mainly solar and wind) over clean energies (those mentioned before plus nuclear energy) would make it difficult to achieve that aim. This is due to radical changes that must be introduced as soon as possible in electric generation, transportation and international trade. This paper shows the relationship between global temperature rise in the last 267 years and the evolution of human activities. Global and local consequences of that change (if not fought or mitigated) are analyzed. Current alternatives and their availability to reduce electric fossil generation are presented. Finally, there is an analysis on the Argentine electricity generation capacity, and a proposal to establish nuclear generation as a primary power source necessary for our country development, and also to comply with global goals on climate change reduction.

Introducción:

A lo largo de diversas eras geológicas de la Tierra, diversos cambios climáticos globales han ocurrido, motorizados por fenómenos naturales como vulcanismo, glaciación, trayectoria del sistema solar alrededor del centro galáctico, impactos asteroideos, etc.

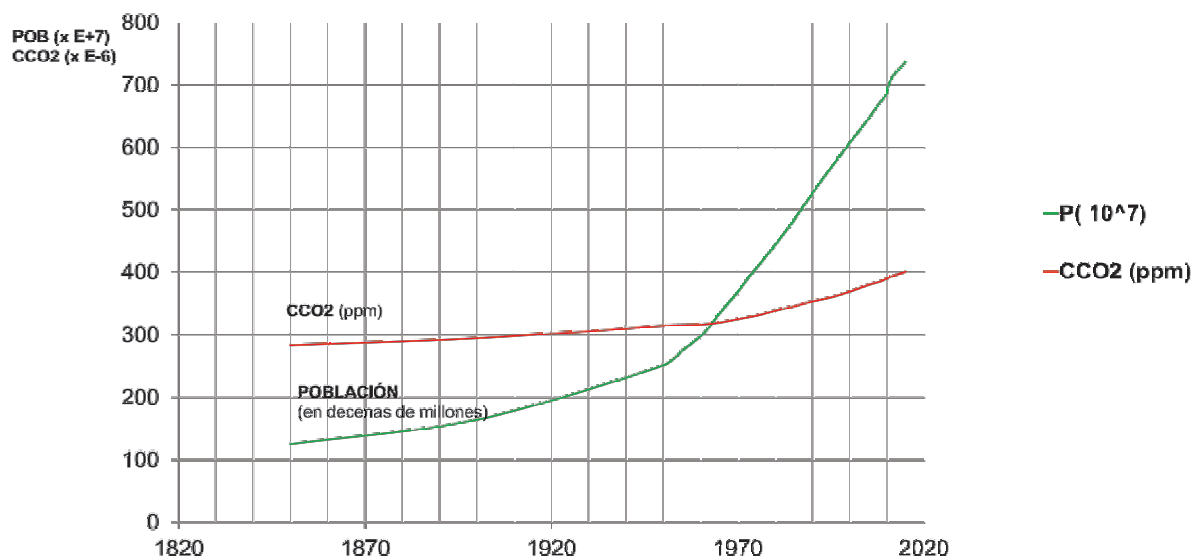
La aparición de la especie humana hace entre 300.000 y 200.000 años no supuso un cambio en el clima hasta hace aproximadamente 267 años.

Entonces, y debido a la Revolución Industrial, desde alrededor de 1750 se comienza a extraer y usar crecientemente carbón en reemplazo de leña para energizar las máquinas. Esto comienza lentamente a elevar la concentración de CO₂ en la atmósfera, inicialmente en 280 ppm.

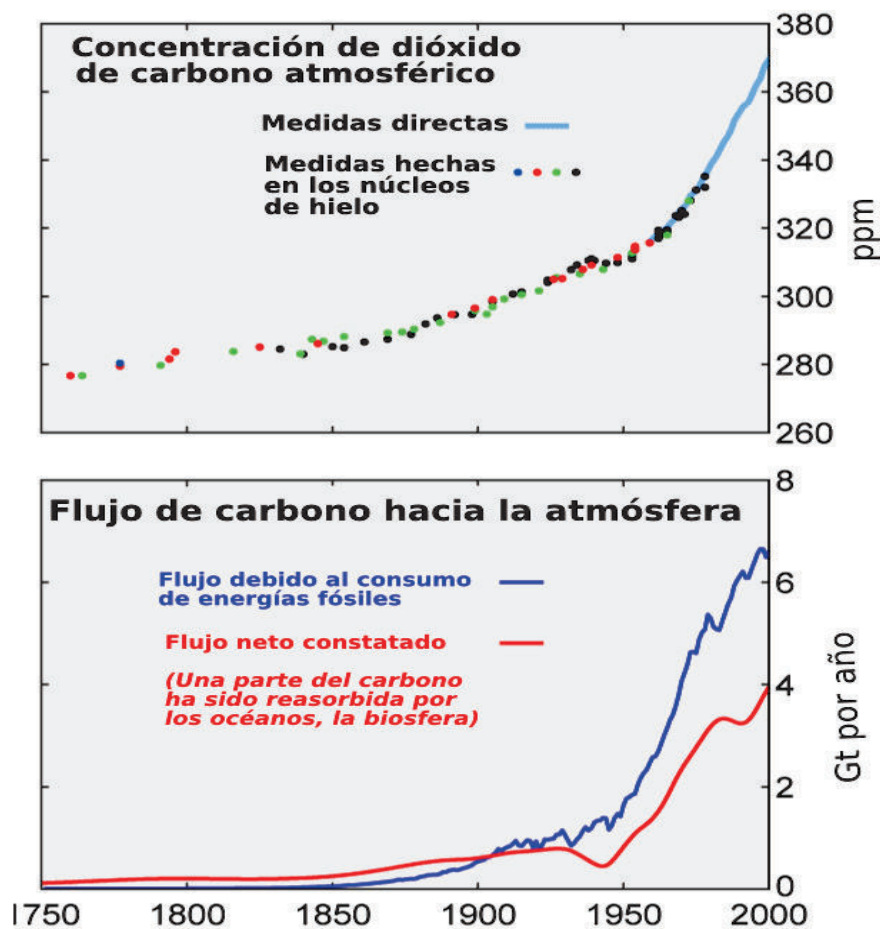
La prueba de este aumento se ha hallado recientemente en testigos de hielo antártico en cuyo interior, a diversas profundidades, han quedado retenidos gases atmosféricos que testifican los niveles de CO₂ a lo largo de los años.

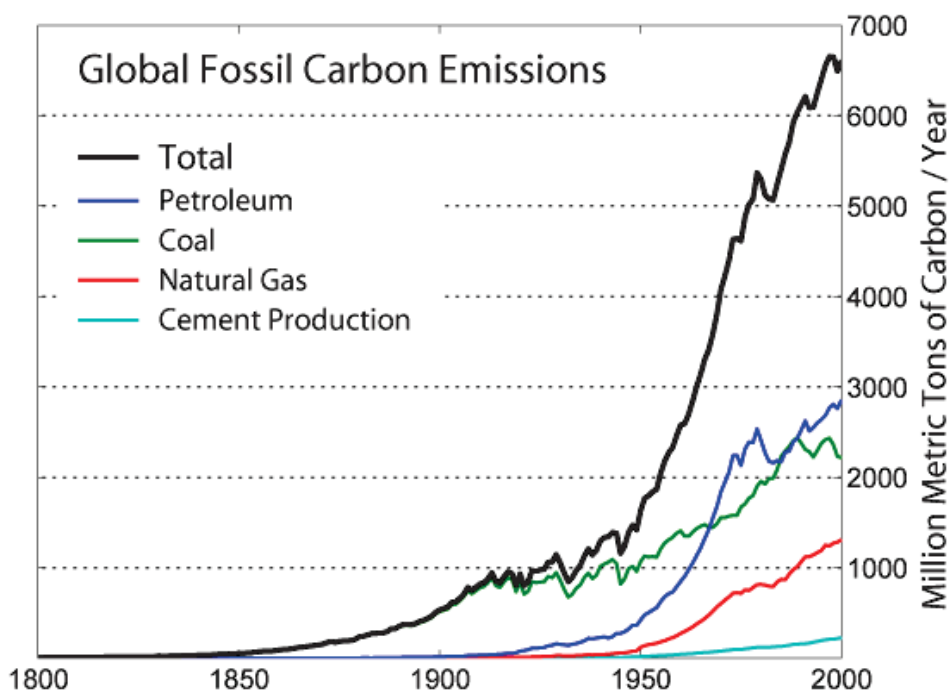
El aumento anual de la concentración de CO₂ atmosférico y su consecuente impacto en las temperaturas por su efecto invernadero, son debidos al aumento de la población mundial, su creciente sobrevida y su dependencia de la generación eléctrica para adecuados niveles de vida.

CURVAS DE POBLACIÓN MUNDIAL Y CCO2 vs AÑOS



INCIDENCIA ANTROPOGÉNICA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

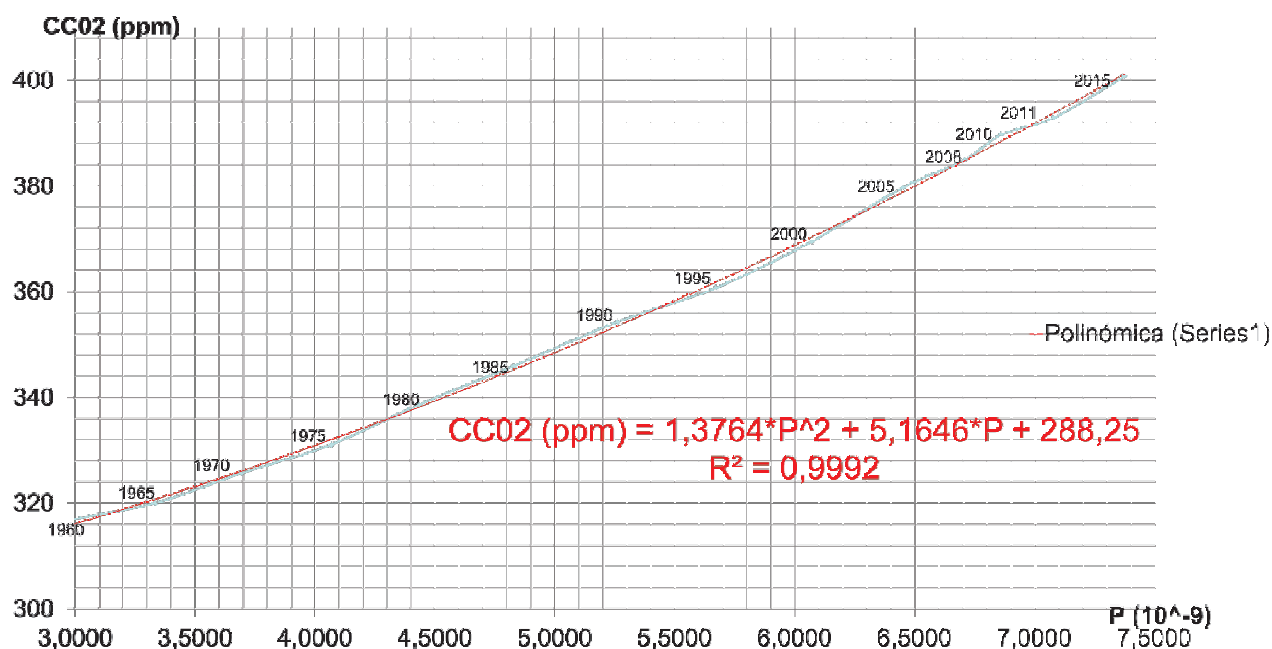




La concentración de CO₂ en función de la población (período 1960-2015) viene dada por CCO_2 (ppm) = $1,3764 \cdot P^2 + 5,1646 \cdot P + 288,25$ $R^2 = 0,9992$.

donde P es la cantidad de habitantes (en miles de millones) y CCO_2 es la concentración (en ppm). Esto determina un aumento de 3 ppm de CO₂/año.

CURVA CCO₂ vs POBLACIÓN MUNDIAL (1960-2015) DEPENDENCIA CUADRÁTICA DE LA CCO₂ RESPECTO DE LA POBLACIÓN



Resulta claro que la correlación anterior (1960-2015) no contempla otras variables intervinientes. Sirve para predecir un aumento de CCO₂ en 3ppm/a. No tiene en cuenta los límites del ecosistema en la relación CCO₂-Población.

El ecosistema terrestre tiene un límite de sustentación de la población. No puede superarse. Aún con nuevas tecnologías agrarias, la CCO₂ las acota.

Si este límite se alcanza la población se estancará y luego disminuirá, aún sin considerar posibles guerras por recursos.

Eso hará descender la CCO₂, pues la biosfera irá reabsorbiendo el exceso.

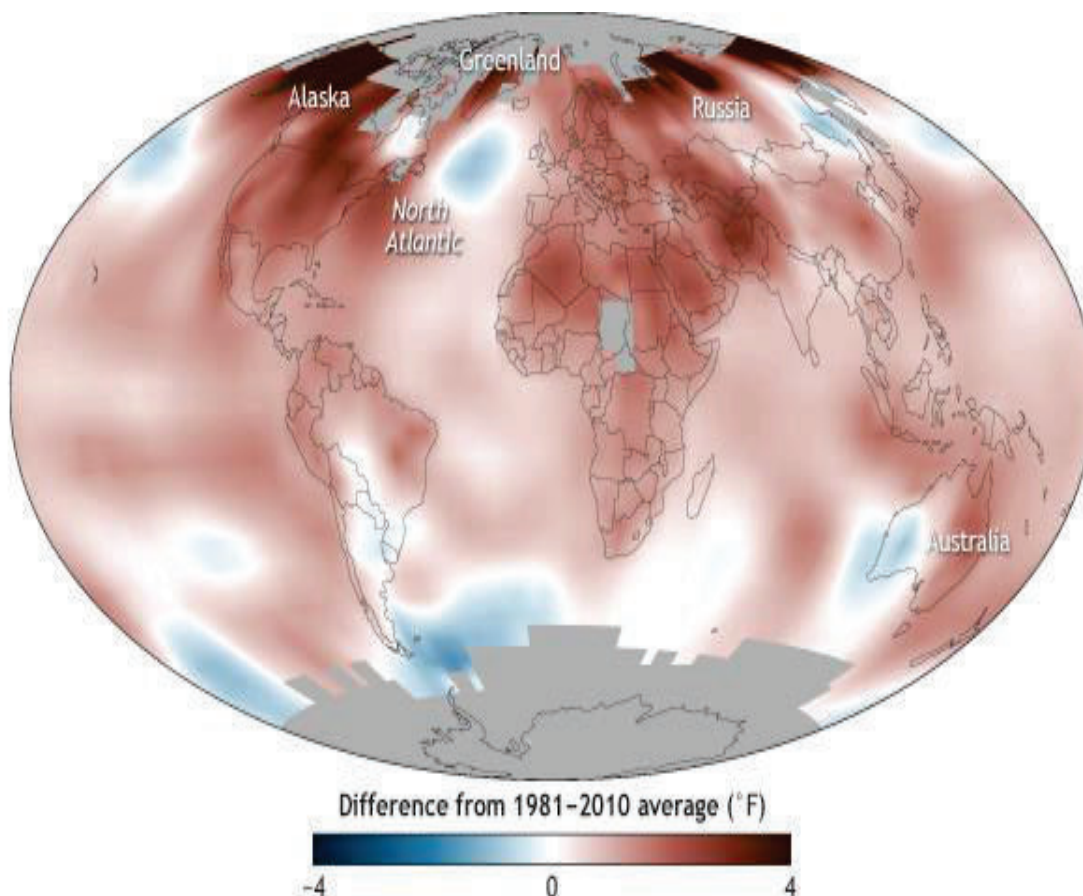
La correlación no contempla el comportamiento no lineal de la población ni de sus tecnologías (p.e. energéticas de baja huella de carbono).

Por eso esta relación es válida en el corto y mediano plazo, pues un aumento descontrolado el cambio

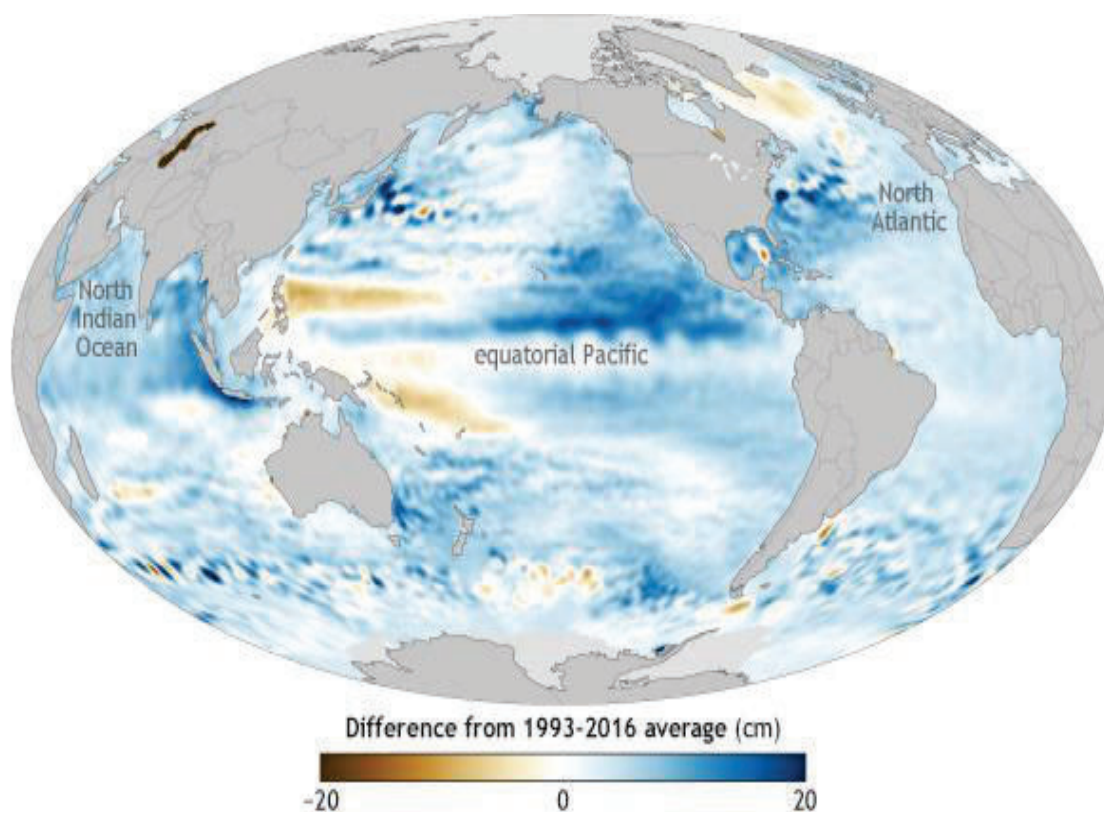
climático limitaría grandemente la producción alimenticia y el agua potable. Con ello se limitaría la población humana (sin evaluar disputas por recursos), con ello el consumo fósil y permitiría una paulatina recuperación a la biosfera. Es decir, en suma:

- El aumento del CO₂ antropogénico impulsa grandes cambios climáticos.
- Fuerte impacto en ecosistemas, en nivel del mar, aumento del nivel de acuíferos, desertificación extrema.
- La escasez localizada de recursos forzaría migraciones masivas.
- Argentina corre el riesgo cierto que el 25% de la provincia de Buenos Aires sea invadida por el mar (cuenca del Río Salado) y pierda vastas extensiones de costa.
- Es imperativo reemplazar, país por país, las fuentes de energía fósiles por aquellas que menos generan CO₂.

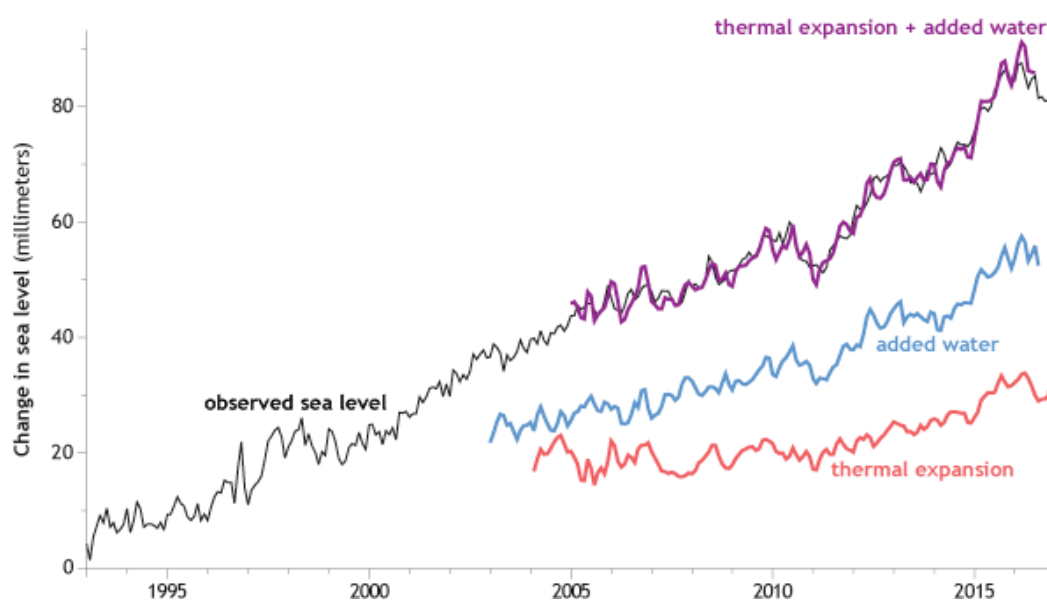
VARIACIÓN TEMPERATURA 1981-2010 (NOAA)



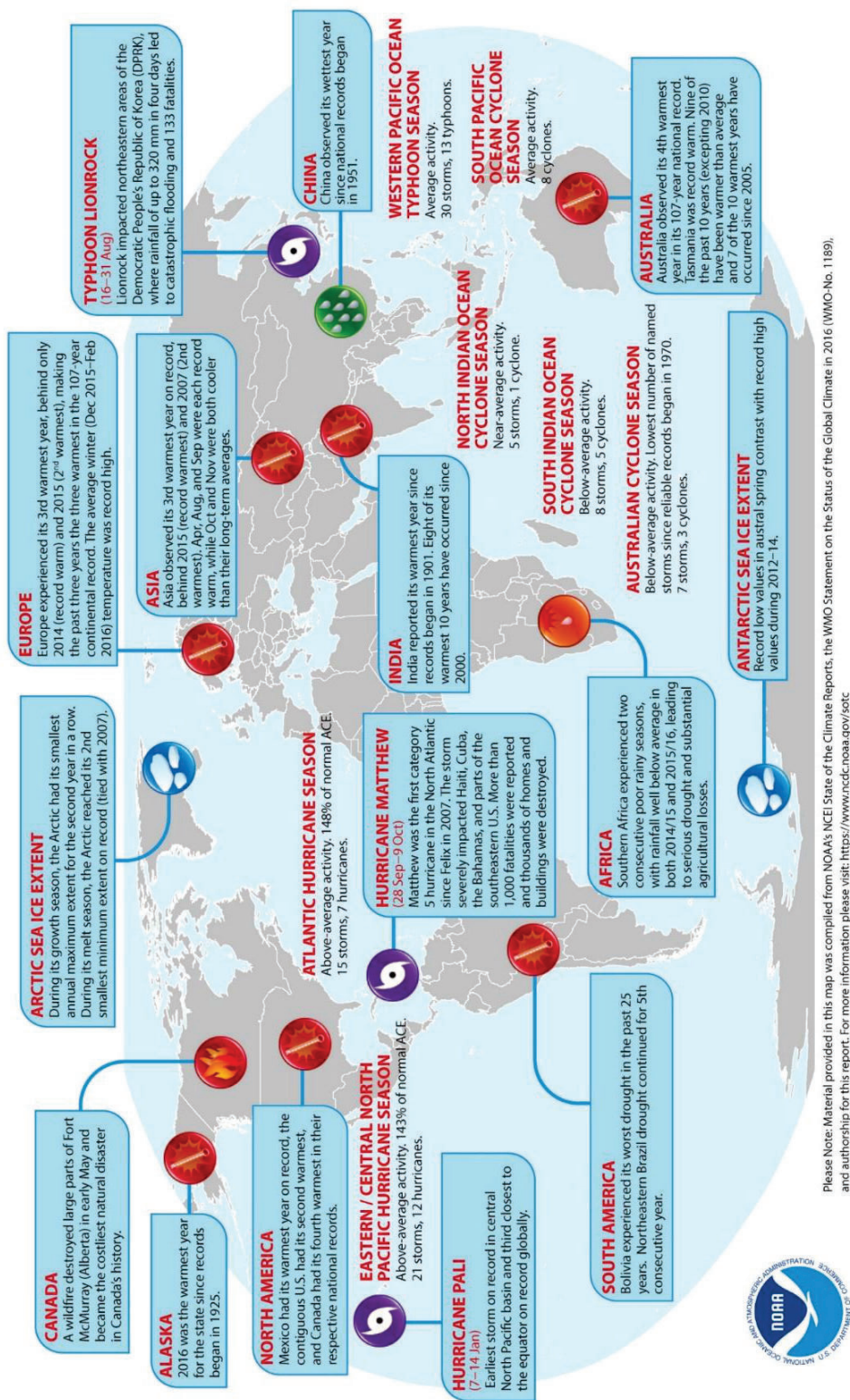
VARIACIÓN NIVEL DEL MAR (NOAA)



CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR 1990-2016 (mm) (NOAA)



EVENTOS CLIMÁTICOS ANORMALES 2016 (NOAA)



Please Note: Material provided in this map was compiled from NOAA's NCEI State of the Climate Reports, the WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2016 (WMO-No. 1189), and authorship for this report. For more information please visit: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc>

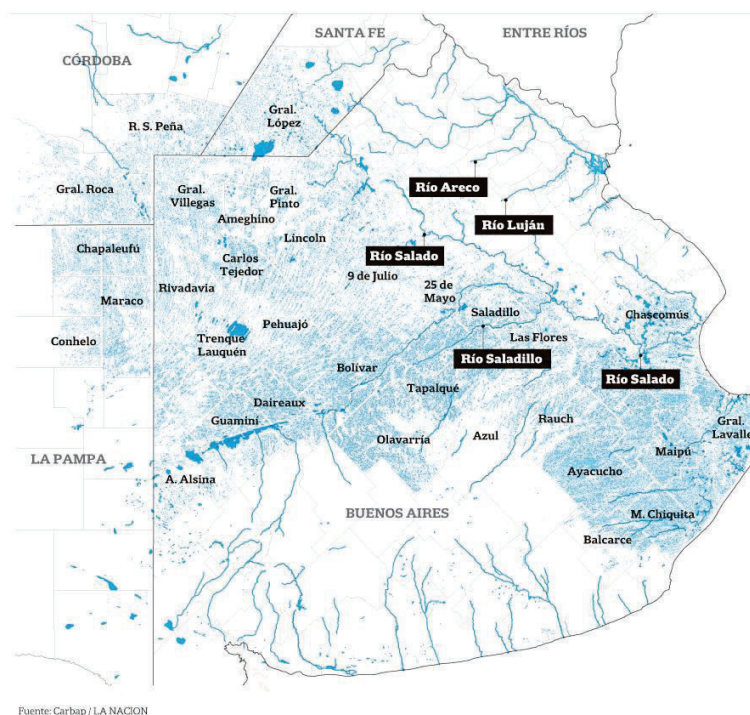


Fig. I.1. Geographical distribution of selected notable climate anomalies and events in 2016.

Resumiendo:

El aumento de CO₂ antropogénico impulsa grandes cambios climáticos. Estos tendrán fuerte impacto en los ecosistemas, en el nivel del mar, en el aumento del nivel de acuíferos y en la desertificación extrema.

La escasez localizada de recursos forzará migraciones masivas. La Argentina corre el riesgo cierto de que el 25% de la provincia de Buenos Aires sea invadida por el mar (cuenca del Río Salado) y pierda vastas extensiones de costa.



Fuente: Carbap / LA NACION

Para evitar esta oscura perspectiva es necesario disminuir drásticamente el empleo de energía fósil y su reemplazo por energías limpias.

Energías limpias

En este trabajo se entiende por energías limpias aquellas que no implican la liberación atmosférica intensiva de CO₂. En este sentido son limpias: foto y termo solar, eólica, mareomotriz, geotérmico, hidráulico y nuclear.

Es por ello que desde hace unos 20 años se promovieron, en particular en Europa y los Estados

Unidos, las energías renovables solar y eólica, a expensas de exenciones impositivas y subsidios. Pero, ni solar ni eólica son costo-competitivas vs nuclear y gas natural. La baja densidad energética de solar requiere uso de grandes extensiones de tierra. Su eficiencia es 12-20% de la energía incidente como mucho. La energía eólica implica producir molinos de gran envergadura, de gran costo de construcción. Sus sitios adecuados son generalmente remotos, lejos de la demanda. Los períodos de máxima demanda diaria y generación no coinciden. No siempre hay viento (calma) o radiación (noche).

Respecto del rendimiento MWe/U\$S, Nuclear es 3,5X Eólica y 21X Solar. Nuclear genera menos CO₂ que Solar.

ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE ENERGÍAS LIMPIAS

TECNOLOGÍA	DISPONIBILIDAD TEMPORAL %	ÁREA para 1000MW
EÓLICA	32-47	673-932 km ²
SOLAR	17-28	117-194 km ²
NUCLEAR	90	3,37 km ²

Las energías renovables tienen los siguientes pros:

- Constituyen recursos inagotables.
- 1 MW eólico/solar evita 2.900 TonCO₂/año, 1 molino 6.375 TonCO₂/año, 10 generan 25 MW = 19.000 hogares.
- Los parques eólicos resultan fáciles de desmontar y de reutilizar el terreno, no así los colectores o células fotovoltaicas.
- Contribuyen a frenar, no frenan el cambio climático.
- La energía eólica resulta compatible con otras actividades como la silvicultura, la ganadería, etc.
- La energía solar es especialmente apta para zonas áridas y ciudades (tejados y recubrimientos) con buena irradiación solar.
- Pueden, junto a otras, menguar la compra/consumo de combustible.

Por otra parte:

- Ni la solar ni la eólica son aún costo-competitivas vs nuclear y gas *shale*.
- Baja densidad energética requiere uso de grandes extensiones de tierra. Eficiencia de la solar 12-20% como mucho.
- Eólica: implica producir molinos de gran envergadura, mayor costo de construcción.
- Sitios adecuados remotos, lejos de la demanda. Períodos de máxima demanda diaria y generación no coinciden.
- No siempre hay viento (calma) o radiación (noche).

- Respecto del rendimiento MWe/U\$, Nuclear es 3,5X Eólica y 21X Solar.
- CO₂(eólica) < CO₂(solar) < CO₂(nuclear).
- Nuclear, fuente limpia, de base. Complementa las renovables.

De todas maneras, se necesitarán absolutamente todas las fuentes limpias integradas a la red, si se pretende estabilizar el clima.

Políticas energéticas de diversos países

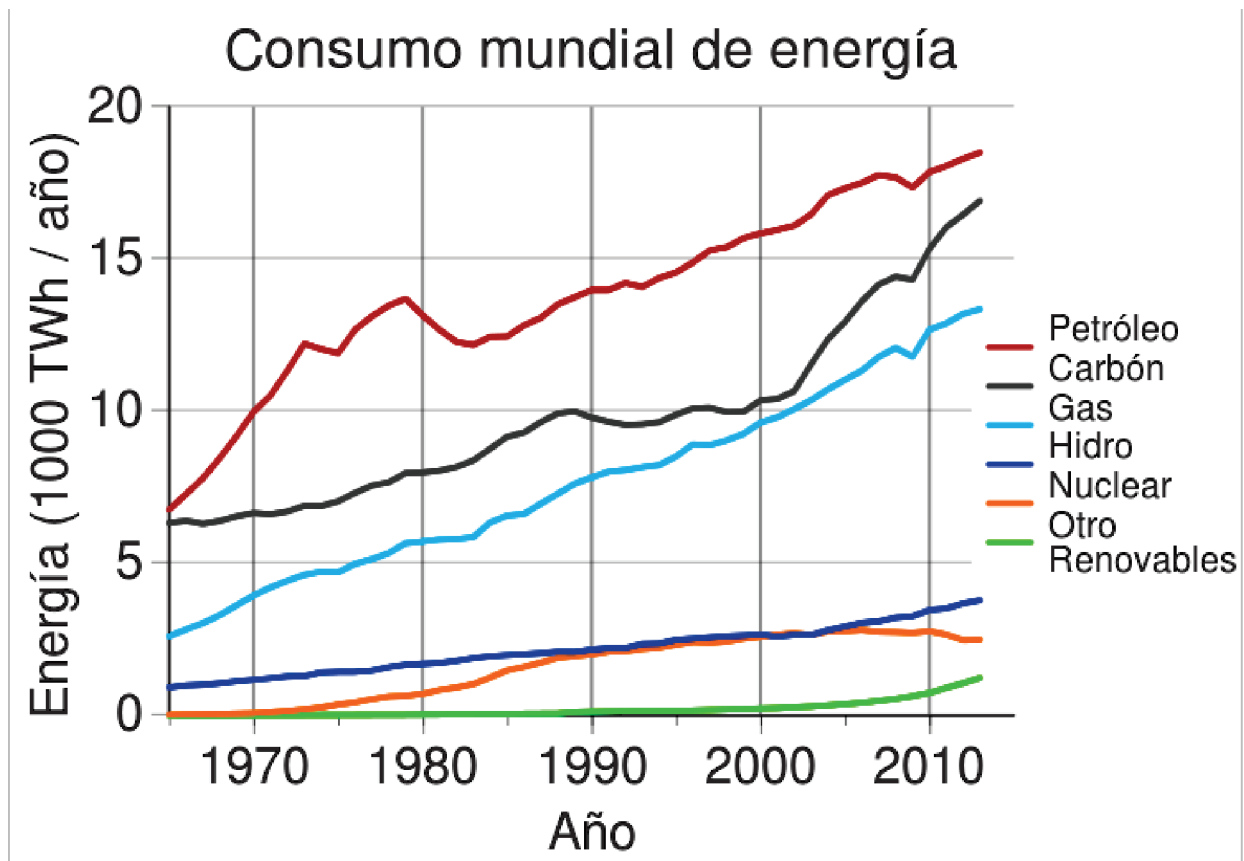
Estados Unidos: ha renunciado al compromiso del Acuerdo de París (COP21, 2015). Su presidente quiere reimponer el uso del carbón, la más contaminante de las energías fósiles. El mercado eléctrico desregulado beneficia al gas natural *exfracking* por su abundancia. La nucleoelectricidad está sometida como aquí a la demanda por costo creciente. Al tiempo, abundantes fondos estatales y desgravaciones subsidian a eólica y solar. Hay 9 (de 103) centrales nucleares que cierran, no por obsoletas sino por no rentables y siguen 14. Convicción creciente en grupos ambientalistas de que sin energía nuclear es imposible cumplir con las metas de reducción de emisión de CO₂. El sector nuclear estadounidense apuesta al desarrollo de los reactores modulares pequeños (SMR) y luego al licenciamiento de nuevos reactores de generación IV, de mayor seguridad nuclear y rendimiento termodinámico. Pero ello implica mayores temperaturas,

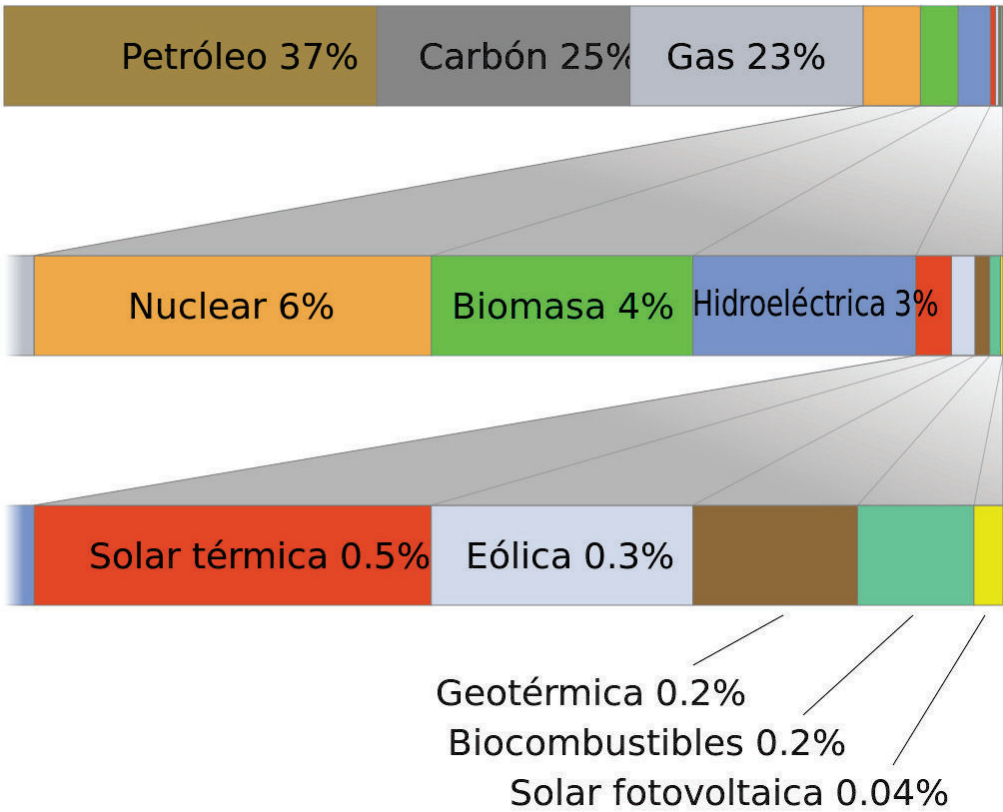
mayor dpi y nuevos materiales probados. Sin el aporte de la actual nucleoelectricidad es imposible reducir las emisiones de CO₂.

Suecia: país comprometido con el Acuerdo de París (COP21, 2015). Su sociedad esta genuinamente preocupada con el aumento de la CCO₂. La energía eólica prosperó en Suecia gracias a una generosa subvención estatal. El partido verde quiso aprovechar la oportunidad para impulsar la erradicación de las plantas nucleares. Estudios sobre el reemplazo de esa fuente de base por una intermitente como la eólica arrojó que

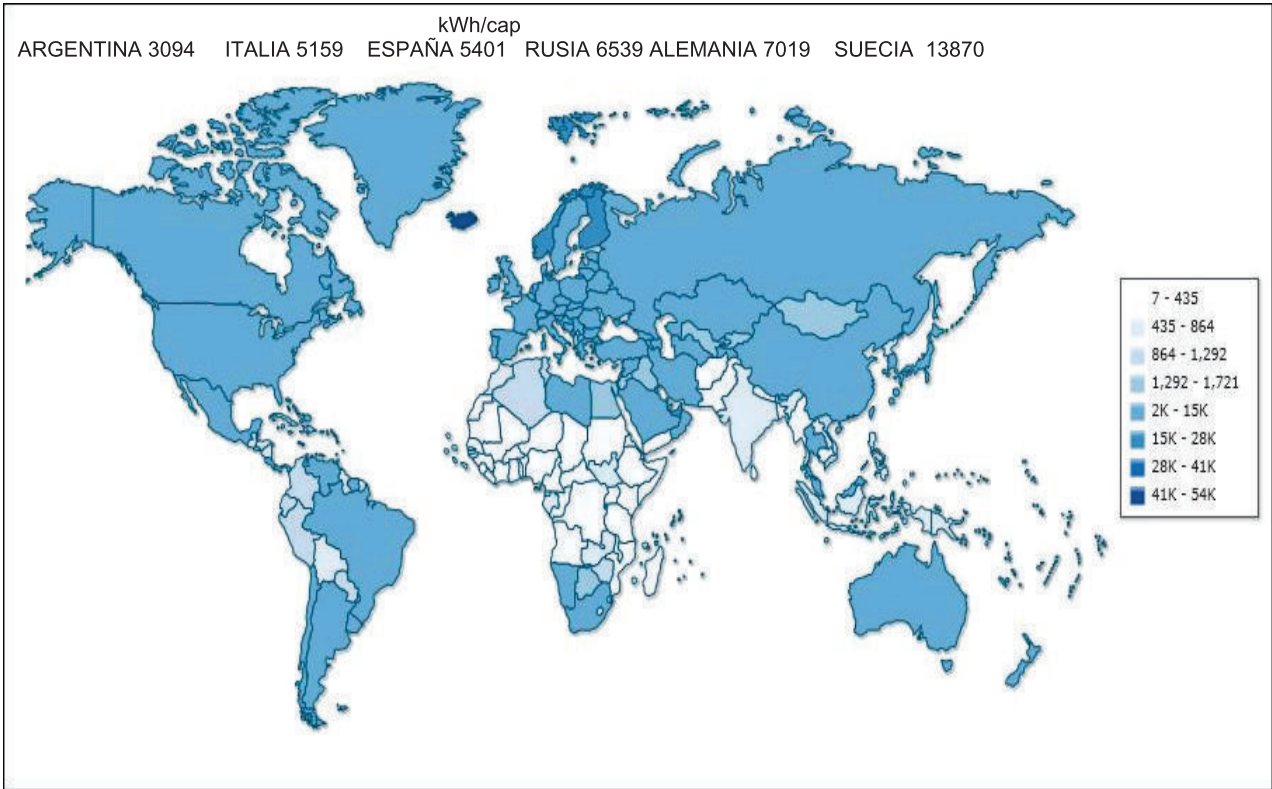
debía suplirse los baches de generación con gas natural. Se calculó que esto duplicaría las emisiones de Suecia. Suecia acaba de abandonar la moratoria para la construcción de centrales nucleares y planean construir 10 centrales nucleares en los próximos 20 años.kWh/cap
China: aportante del 23% del CO₂ liberado a la atmósfera sobre la base de las centrales de carbón. Signatario del compromiso COP21. Está invirtiendo gran cantidad de capital en nucleoelectricidad y tiene el liderazgo mundial de desarrollo de esta energía.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MUNDO





ENERGÍA ELÉCTRICA POR HABITANTE



La lógica inherente del mercado eléctrico es la minimización del costo inmediato (sin considerar el costo ambiental), situación que 'per se' no es auto corregible. Es decir: la supuesta autorregulación del mercado no se ocupa del aumento de CO₂. Si el gas natural *exfracking* es barato, se usa primero. Si el petróleo lo fuera, también, y aún el carbón.

Sólo se puede corregir por acción de los estados. Esta es la razón de ser del Acuerdo de París. Para que los estados combatan el calentamiento global deberán gravarse las emisiones nocivas y destinar específicamente esos fondos a financiar energías limpias. Hoy el mercado atiende la demanda eléctrica por costo

creciente, por un lado, se resiste a gravar emisiones so pena de encarecer la energía, por otro financia y desgrava energías renovables no costo-competitivas.

Situación de la Argentina

La Argentina tiene (2015) un parque eléctrico con una potencia instalada de 31.141 MW constituido por aportes de fósiles (60,60%), hidroeléctrica (33,52%), nuclear (5,30%), eólica (0,56%) y solar (0,02%). La energía fósil tiene aportes de gas natural (ciclo combinado 27,84%, turbo gas 15,63%), turbo vapor 13,43%) y de generadores diésel (3,70%).

SITUACIÓN ACTUAL DE ARGENTINA

TECNOLOGÍA		POTENCIA INSTALADA		PORCENTAJE	
TÉRMICA	CICLO COMBINADO	9.227	20.083	27,84%	
	TURBO GAS	5.179		15,63%	
	TURBO VAPOR	4.451		13,43%	
	DIESEL	1.226		3,70%	
HIDROELÉCTRICA		11.108			33,52%
NUCLEAR		1.755			5,30%
EÓLICA		187			0,56%
SOLAR		8			0,02%
TOTAL		33.141			100,00%

Los planes gubernamentales incluyen la construcción de dos centrales hidroeléctricas en el curso del río Santa Cruz por 1.310 MW, un complejo solar en Jujuy por hasta 1.000 MW, dos centrales nucleares por 745 y 1.150 respectivamente. Se anuncia la apertura de licitaciones para la incorporación de nuevos parques eólicos y solares por una potencia aun no revelada. Totalizan estos planes más de 4.200 MW representado un 13,5% de la capacidad ya instalada. Para que Argentina tenga una potencia per cápita comparable a

países desarrollados como España e Italia debería aumentar un 40% su potencia instalada. Es decir, falta el aporte de un 26,5% de generación eléctrica limpia.

Consideraciones generales:

El Acuerdo de París es un pacto ambiental internacional para atenuar emisión del CO₂, mientras que la lógica inherente del mercado eléctrico es la minimización del costo inmediato (sin considerar el costo

ambiental), situación que de por sí no es autocorregible.

La supuesta autorregulación del mercado no se ocupa del crecimiento de la concentración del CO₂ en la atmósfera. Si el gas natural *exfracking* es barato se usa primero. Si el petróleo lo fuera, también, aún el carbón.

De comprometerse los signatarios del Acuerdo de París a combatir el calentamiento global, tarde o temprano deberán gravar las emisiones de CO₂ y destinar esos fondos a financiar energías limpias y costo-competitivas. Cuanto antes. E ir reemplazando la generación mediante carbón, petróleo y finalmente gas por las limpias. La nuclear es energía de base, limpia y mediante la futura (2025-30) entrada de los reactores modulares (base tipo CAREM) estará en condiciones de competir con el gas natural respecto del costo específico.

Reflexiones finales:

- La crisis climática es hoy y hay que combatirla hoy.
- En el campo nuclear es absurdo esperar al licenciamiento de los reactores de la Generación IV para el desafío de atenuar y disminuir la CCO₂ en la atmósfera.
- Debe continuar el estudio y prueba de nuevos materiales y conceptos energéticos.
- La entrada de los reactores modulares universalizará el uso de la nucleoelectricidad por su modularidad y mayor seguridad.

Trabajo presentado en la XLIV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 21 al 25 de octubre de 2017.

Análisis de confiabilidad y disponibilidad de tecnologías de producción y suministro de agua de baja conductividad para una nueva Central Nuclear

IRIGARAY, M.⁽¹⁾, CONTI, M.C.⁽¹⁾, CHOCHRÓN, M.⁽¹⁾, GRASSO, G.⁽²⁾, DUCA, J.⁽²⁾

(1) Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica

(2) Nucleoeléctrica Argentina S.A.

La planta de producción de agua desmineralizada desempeña un rol importante en el funcionamiento de una Central Nuclear. Para un reactor PWR se debe reponer agua de muy baja conductividad a los Circuitos Primario y Secundario. Mientras que, en los reactores PHWR se repone al Circuito Secundario y Sistemas auxiliares. En consecuencia, es condición necesaria asegurar la disposición y el suministro de agua en cantidad y calidad para las demandas de la Central.

Es por ello que, en el contexto del diseño y construcción de una nueva Central Nuclear, estudiar y analizar las diferentes alternativas de tecnologías a implementar en una planta de agua adquiere una considerable relevancia. Esto se debe no solo a razón de optimizar el consumo energético, aditivos químicos y otros consumibles que pudiera tener a los efectos de mantener en operación la planta, sino también en el aspecto de confiabilidad y disponibilidad que la misma puede ofrecer a la Central.

En el presente trabajo se caracterizan la tecnología de Resinas de Intercambio Iónico (IX) y las tecnologías híbridas de Osmosis Inversa+Resinas de Intercambio Iónico (RO+IX) y Osmosis Inversa+Electrodeionización (RO+EDI) a partir del análisis FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Se aplica el Número de Prioridad de Riesgo (RPN) para evaluar la respuesta de la planta y su influencia en las variaciones de caudal y calidad química del agua producto frente a perturbaciones en la operación normal.

A los efectos del análisis se tuvieron en cuenta las siguientes causas que generan fallas en capacidad y calidad del agua producto de la planta: desviaciones de la composición química de la fuente fría, lavado y/o regeneración incompleta, *fouling* (ensuciamiento) y/o *scaling*, daño físico y/o mecánico del módulo de separación, pérdida total o parcial de tensión eléctrica de planta, entre otros.

Del análisis realizado se desprende que la tecnología IX resulta una alternativa más robusta frente al resto de los sistemas estudiados (RO+IX y RO+EDI), ya que las características que presenta la planta permiten absorber en gran proporción las fallas durante operación y mantener en especificación tanto el caudal como la calidad química del agua producto.

Reliability and Availability Analysis of Technologies of Low-Conductivity Water Production and Supply for a New NPP

The demineralized water production plant plays an important role in the operation of a nuclear power plant (NPP). The PWR reactor primary and secondary circuits must be refilled with very-low-conductivity water; while PHWR reactors replace very-low-conductivity water in the secondary circuit and auxiliary systems. As a result, it is necessary to ensure the provision and supply of water in quantity and quality to comply with the NPP needs.

That is the reason why, in the context of the design and construction of a new NPP, the study and analysis of the different technologies available to implement in a water production plant acquires considerable relevance. This is not only to optimize energy consumption, chemical additives and other supplies that might be used to keep the plant operative, but also in terms of the reliability and availability that it can offer to the NPP.

This paper shows the characterization of Ion Exchange Resins (IX) technology and Hybrid technologies: Reverse Osmosis + Ion Exchange Resins (RO+IX) and Reverse Osmosis + Electrodeionization (RO+EDI) using FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Risk Priority Number (RPN) is applied to assess the response of the plant and its influence on water flow variations and chemical quality of product water when the normal operation of the plant is affected.

For the purpose of the analysis, the following causes that generate faults in the water product capacity and quality were considered: cold-source chemical composition deviations, washing and/or incomplete regeneration, fouling and/or scaling, physical or mechanical damage of the separation module, total or partial loss of electric voltage, among others.

The analysis performed shows that the IX technology is a more suitable alternative when compared to the rest of the systems studied (RO+IX and RO+EDI), as the features of the plant allow the absorption of most failures during operation and it maintains product water specification as well as water flow and chemical quality.

1. Introducción

En el marco de la planificación y construcción de una próxima Central Nuclear en el país, la Comisión Nacional de Energía Atómica se encuentra cooperando con Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) en diversas actividades, una de las cuales, involucra la selección de la tecnología de separación de la Planta de Producción de Agua Desmineralizada de la Central Nuclear.

La Planta de Producción de Agua Desmineralizada (DWP, por sus siglas en inglés) desempeña un rol importante en el funcionamiento de una Central, dado que debe producir, almacenar y suministrar agua de calidad desmineralizada para reposición a los Circuitos Primario, Secundario, Sistemas Auxiliares y otros sistemas de procesos de la Central. La DWP debe asegurar el suministro en todo momento en cantidad y calidad de agua desmineralizada.

El presente trabajo tiene por objeto determinar entre las tecnologías a implementar en una DWP, aquella que presente un mayor grado de robustez en su operación y, por lo tanto, una mayor confiabilidad en la especificación en cantidad y de calidad química del producto.

Para ello se emplea la metodología de evaluación de riesgos FMEA [3], cuyo propósito es caracterizar las

distintas causas de fallas, mediante el Número Prioritario de Riesgo (RPN), el cual se estima mediante los índices *Severity* (S), *Occurrence* (O) y *Detection* (D) tal como lo indica la ec.1.

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad [ec.1]$$

2. Planta de Producción de Agua

A los efectos de aplicar la metodología FMEA, se proponen tres alternativas de configuraciones del Sistema de Desmineralización de una DWP, cada una correspondiente a las tecnologías a analizar (IX, RO+IX y RO+EDI). La fuente de alimentación es agua proveniente del río y presenta un Sistema de Pretratamiento con idénticas características. El caudal de agua debe garantizarse en 40 m³/h con calidad desmineralizada.

2.1. Caso 1: Planta de Agua IX

La Planta de Agua con tecnología IX dispone de un tren de tratamiento compuesto por un Lecho de Resina Catiónica, seguido de un Lecho de Resina Aniónica y por un último, un pulido final a través de un Lecho de Resina Mixto. El agua desmineralizada se deposita en el Tanque de Almacenamiento.

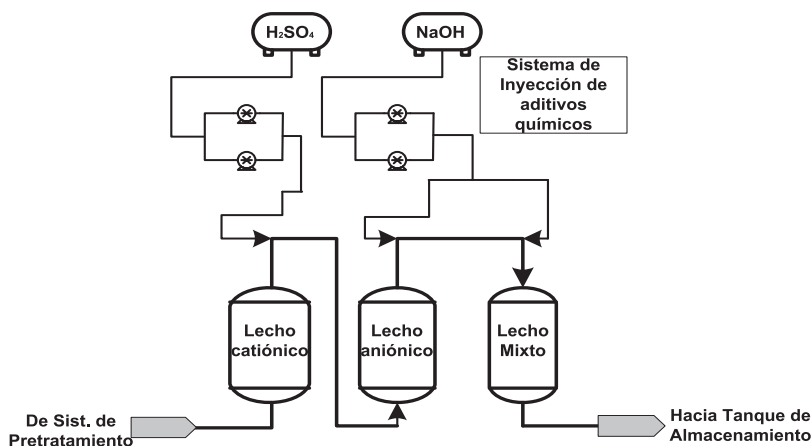


Figura 1. Esquema conceptual – Planta IX [2]

2.2. Caso 2: Planta de Agua RO+IX

La Planta de Agua con tecnología RO+IX dispone de un Sistema de Pre-tratamiento por membranas de Ultrafiltración (UF). La corriente de agua ultrafiltrada se purifica en los Módulos de Osmosis Inversa donde se obtienen dos corrientes producto: Salmuera o Concentrado (elevada en concentración de sales) y

Permeado (agua de alta calidad). La corriente de Permeado se dirige hacia el Lecho de Resina Mixta que actúa como pulido final del proceso. El agua desmineralizada obtenida se almacena en los Tanques de Almacenamiento.

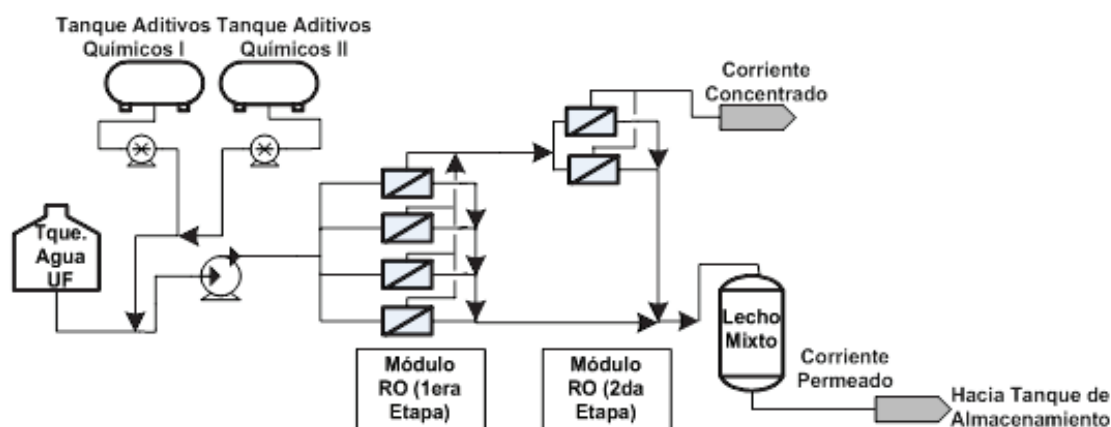


Figura 2. Esquema conceptual – Planta RO+IX [2]

2.3. Caso 3: Planta de Agua RO+EDI

La Planta de Agua con tecnología RO+EDI dispone de un Sistema de Pre-tratamiento por membranas de Ultrafiltración (UF). La corriente de agua ultra-filtrada se desmineraliza en los Módulos de Osmosis Inversa donde se obtienen dos corrientes: Salmuera o Concentrado y

Permeado. La corriente Permeado se dirige a un Módulo de Electrodionización para pulido final. El agua desmineralizada obtenida se almacena en los Tanques de Almacenamiento.

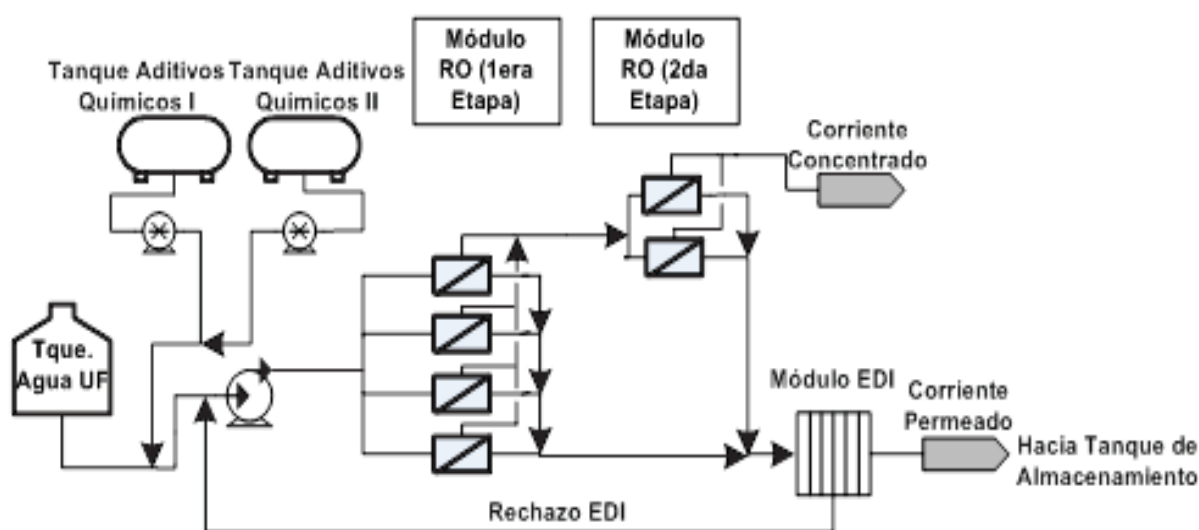


Figura 3. Esquema conceptual – Planta RO+EDI [2]

3. Análisis de Modos de Falla y Efectos

3.1 Determinación de Modos de Falla

Se definen para una Planta de Producción de Agua Desmineralizada los siguientes modos de falla:

- Agua producto fuera de especificación química
- Caudal de agua producto fuera de especificación

Ambos modos de falla tienen una considerable repercusión en la operación de los sistemas de una Central Nuclear. Suministrar agua fuera de especificación química, puede favorecer la aparición de

fenómenos corrosivos en superficies internas de estructuras y componentes del sistema. En consecuencia, para restablecer el carácter químico del medio, pueden ser necesarias restricciones en el tiempo de operación hasta paradas imprevistas de planta.

3.2 Determinación de Causas de Falla

Teniendo en cuenta las características de operación de cada una de las tecnologías en estudio, se identifican aquellos eventos comunes de los tres casos y causantes a fallas en el sistema:

Tabla 1. Causa de falla según modo de falla

Modo de falla	Ref.	Causa de falla	Descripción
Calidad química del agua fuera de especificación	1.1	Cambios en la composición del agua cruda (TDS, TOC, TSS)	Desviación en los parámetros químicos del agua cruda
	1.2	Incompleta regeneración/lavado	Falla en las etapas de regeneración y/o limpieza
	1.3	Baja tensión eléctrica	Perdida de tensión eléctrica parcial o total en la planta
	1.4	Daño físico y mecánico	Ruptura o partición de las membranas o resinas
	1.5	Fouling/Scaling	Depósito de material indeseado/Precipitación de sales saturadas en la superficie interna de membranas/resinas.
Caudal de agua fuera de especificación	2.1	Daño físico y mecánico	Ruptura o partición de las membranas o resinas
	2.2	Baja tensión eléctrica	Perdida de tensión eléctrica parcial o total en la planta
	2.3	Fouling/Scaling	Depósito de material indeseado y/o precipitación de sales saturadas en la superficie interna de membranas o resinas.
	2.4	Falla operativa	Intervención errónea de operario

3.3 Definición de índices de riesgo

A los efectos de caracterizar cada una de las causas de falla de acuerdo al nivel de riesgo e impacto que pueden tener sobre la especificación del producto, se definen a continuación los parámetros que se tendrán en cuenta para dicho análisis.

Como se indicó previamente, el Número Prioritario de Riesgo (RPN) es el producto de tres magnitudes:

- *Severity* (S): Da noción de que tan elevado es el impacto en el sistema. A falla más severa, el índice tiene valor más alto.
- *Ocurrence* (O): Refiere a la frecuencia con la que la falla puede ser tolerada en el sistema. A fallas que son

poco toleradas, el índice tiene valor más alto.

- *Detection* (D): Indica la capacidad que tiene el sistema para detectar la causa de la falla. A menor capacidad de detectar la falla, mayor es el índice.

Los índices de *Severity*, *Ocurrence* y *Detection* se definieron en conjunto con personal de NASA con experiencia en la operación de una Planta de Agua mediante una escala numérica. La selección de la escala y su significado es subjetiva a las características de los casos analizados.

Tabla 2. Severity

Ranking	Nivel
1	La falla ocurre y no tiene impacto en el sistema
2	Falla produce que el agua se encuentra fuera de especificación, sin embargo es tolerable
3	Falla produce que el agua se encuentre fuera de especificación, por debajo del límite tolerable. El sistema puede exponerse a daño, puede continuar operando por un tiempo acotado de tiempo hasta que se alcance el nivel de alarma y se tomen medidas correctivas.
4	La falla produce que el agua este fuera del rango de especificación y alcance el nivel de alarma. El Sistema debe interrumpir su operación.

Tabla 3. Detection

Ranking	Nivel
1	Asegurada. Falla evidente.
4	Falla escondida. Sin embargo es posible determinar la causa.
7	Falla escondida. El origen de la falla es difícil de determinar.
10	Falla imposible de detectar.

Tabla 4. Occurrence allowed

Ranking	Nivel
1	Se permite que opere fuera de especificación hasta 30 días al año.
2	Se permite que opere fuera de especificación hasta 10 días al año.
3	Se permite que opere fuera de especificación hasta 1 día al año.

4. Resultados

Luego de determinar los modos de falla y causa de falla asociados a los sistemas de producción de agua desmineralizada, los correspondientes índices RPN

fueron calculados. En la tabla a continuación se presentan el resultado del análisis FMEA para los casos en estudio.

Tabla 5. FMEA Análisis

Función	Modo de falla	Ref.	Causa de falla	IX				RO+IX				RO+EDI				
				S	D	O	RPN	S	D	O	RPN	S	D	O	RPN	
Producción de agua calidad desmineralizada	Calidad química del agua fuera de especificación	I.1	Cambios en la composición del agua cruda(TDS, TOC, TSS)	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4	
		I.2		Incompleta regeneración/lavado	2	4	1	8	2	4	1	8	3	4	2	24
		I.3			Baja tensión eléctrica	2	1	1	2	2	1	2	4	3	1	3
		I.4	Daño físico y mecánico	1	4	1	4	4	4	2	32	4	4	2	32	
		I.5	Fouling/Scaling	1	7	1	7	3	7	2	42	3	7	2	42	
	Caudal de agua fuera de especificación	2.1	Daño físico y mecánico	1	4	2	8	3	4	2	24	3	4	2	24	
		2.2	Baja tensión eléctrica	2	1	1	2	3	1	2	6	3	1	3	9	
		2.3	Fouling/Scaling	2	7	1	14	3	7	2	42	3	7	2	42	
		2.4	Falla operativa	2	4	1	8	3	4	2	24	3	4	2	24	

5. Interpretación de resultados

Los resultados expuestos en la Tabla 5 permiten contrastar múltiples aspectos entre las alternativas analizadas. En el gráfico a continuación se compara el

índice RPN/RPN_{Max} asociado a cada causa de falla para la tecnología IX y las tecnologías híbridas RO+IX y RO+EDI.

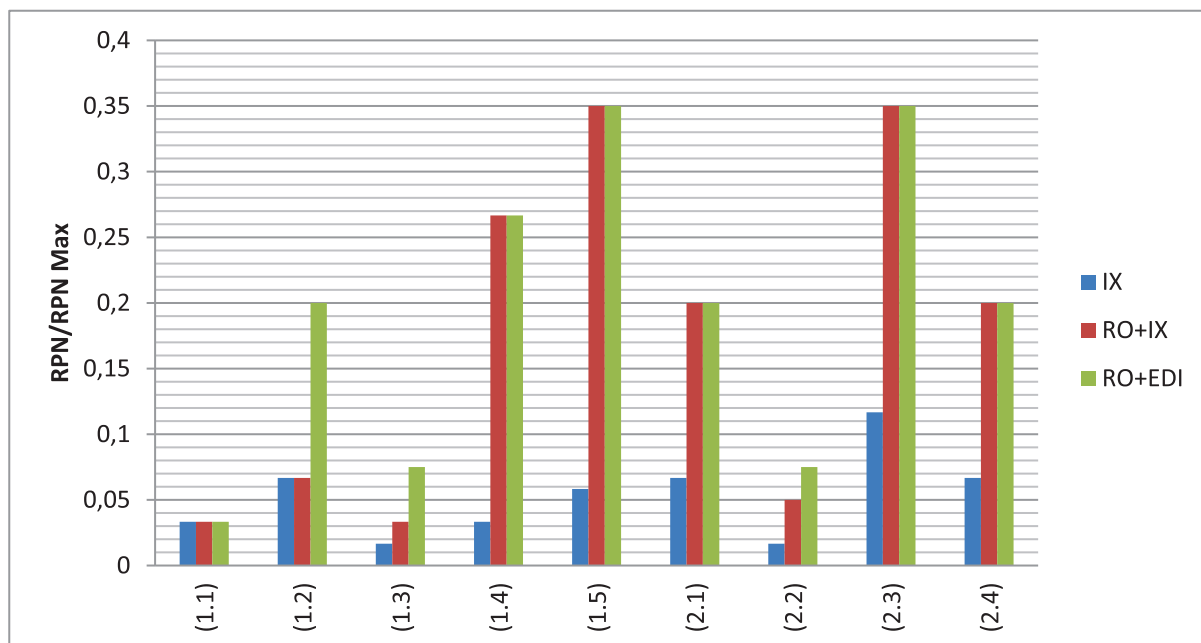


Figura 4. Comparación RPN según categoría para cada tecnología

Por otro lado, en la Fig. 5 se comparan los índices de falla en su conjunto entre las alternativas de

configuración de la Planta de Producción de Agua Desmineralizada.

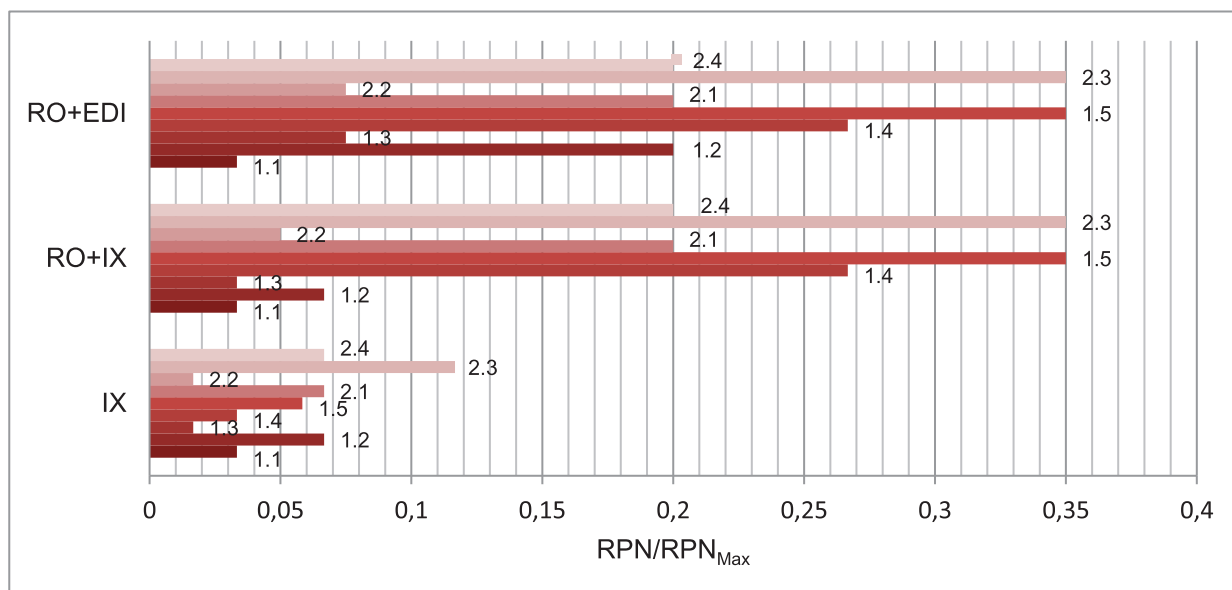


Figura 5. Gráfico comparación global de alternativas

Tabla 6. Referencias

Referencias		
Calidad química del agua fuera de especificación	I.1	Cambios en la composición del agua cruda (TDS, TOC, TSS)
	I.2	Incompleta regeneración/lavado
	I.3	Baja tensión eléctrica
	I.4	Daño físico y mecánico
	I.5	<i>Fouling/Scaling</i>
Caudal de agua fuera de especificación	2.1	Daño físico y mecánico
	2.2	Baja tensión eléctrica
	2.3	<i>Fouling/Scaling</i>
	2.4	Falla operativa

Los resultados expuestos indican que, de manera preliminar, la tecnología IX es una alternativa robusta en términos de confiabilidad y disponibilidad para implementar en una Planta de Producción de Agua Desmineralizada. En la Figura 5 se observa que la tecnología IX presenta, en comparación a las tecnologías híbridas, un riesgo de impacto menor en el suministro requerido de agua desmineralizada a la Central.

Por otro lado, se observa que las alternativas RO+IX y RO+EDI presentan índices elevados asociados al *Fouling/Scaling* y daño físico de las membranas, lo cual indica que requieren un control continuo de los parámetros químicos de la corriente de alimentación y del estado de operación de las membranas RO/Módulos EDI.

6. Conclusiones

Se realizó una evaluación en términos de disponibilidad y confiabilidad de acuerdo a la tecnología a implementar en una Planta de Producción de Agua Desmineralizada de una Central Nuclear. Se contemplaron tres alternativas distintas: Tecnología de Resinas de Intercambio Iónico, tecnologías híbridas de Ósmosis Inversa+Resinas de Intercambio Iónico y de Ósmosis Inversa+Electrodeionización.

Para llevar a cabo dicho análisis se implementó la metodología FMEA, se determinaron los modos y causas de fallas comunes a dichas tecnologías, se definieron los parámetros de riesgos y se calculó el RPN asociado.

De acuerdo a los resultados obtenidos, circunscriptos a los parámetros que se consideraron en las matrices del presente trabajo y a la experiencia de los especialistas involucrados, se observa que la Planta IX es aún en su conjunto una tecnología más robusta frente a las híbridas RO+IX y RO+EDI. La misma presenta una

mayor flexibilidad en la operación ante perturbaciones, asegurando el suministro a los requisitos de calidad y cantidad de la Central Nuclear.

Mediante la metodología FMEA es posible relevar y categorizar eventuales fallas, con el objeto de determinar la tecnología viable, en términos de confiabilidad y disponibilidad, para una DWP.

7. Abreviaturas

DWP	<i>Demineralized Water Plant</i>
FMEA	<i>Failure Method Effect Analysis</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
IX	<i>Ion Exchange</i>
RO	<i>Reverse Osmosis</i>
EDI	<i>Electrodeionization</i>
UF	<i>Ultrafiltration</i>
NA-SA	Nucleoeléctrica Argentina SA

Referencias

- [1] Grasso, G., Pelizzari, D., Duca, J. (2015). Descripción del Sistema: Suministros de Agua Cruda. CNAII. (2016). Descripción del Sistema: Sistema de Desmineralización. CNAII.
- [2] Irigaray, M., Conti, M.C., Chocrón, M.; (2017). Análisis de tecnología para una planta de agua de central tipo CANDU.
- [3] Rausand, M; Houland, A. *System Reliability: Theory Models and Statistical Methods*. 2nd Ed.

Trabajo presentado en la XLIV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 21 al 25 de octubre de 2017.

Diseño de prototipo de Herramienta de Manipulación y Extensión para inspección y mantenimiento de los GVs del CAREM

A. N. LEAÑO, A. T. QUISPE MAMANI, EDUARDO MARTELEUR, S. PEDRE - Centro Atómico de Bariloche - Comisión Nacional de Energía Atómica

Dentro del proyecto CAREM (Concepto Argentino de Reactor Modular) se busca automatizar las tareas de inspección y mantenimiento de los tubos de los GVs (generadores de vapor). Esto tiene por objetivo disminuir las tasas de dosis de los operarios, como así también disminuir los tiempos empleados para estas tareas. Como parte de la automatización se emplea un brazo robótico industrial KUKA® QUANTEC NANO el cual presenta, como una de sus principales características, un alcance limitado que garantiza la ausencia de colisiones con elementos del entorno.

Sin embargo, el alcance limitado resulta restrictivo para ciertas tareas, derivando en la necesidad de diseñar una herramienta que lo aumente. Esta herramienta debe ser capaz de acoplar otras herramientas, que serán las que finalmente ejecuten las tareas. Dado que la mayoría de las herramientas serán utilizadas de esta manera, dentro del sistema propuesto la herramienta de extensión constituye uno de los componentes centrales del sistema, significando una fuerte interacción con el resto de los diseños.

En el presente trabajo, se presenta el diseño de dicha herramienta de manipulación (HeMa), y en conjunto los requerimientos y soluciones propuestas para las herramientas que interactúan con la misma.

Se analizaron las capacidades del brazo robótico, movimientos posibles, entorno de trabajo y requerimientos provenientes de las herramientas a manipular. Las variantes de diseño que se obtuvieron fueron simuladas en el entorno de simulación DMU Kinematics y Delmia para verificar la cinemática de la herramienta y encontrar una configuración geométrica óptima.

Definida esta configuración se seleccionaron elementos comerciales y se diseñaron las diferentes partes de la Hema. De la misma forma, se diseñó la herramienta complementaria que permita alcanzar la placa tubo de los GVs. Se realizó un análisis por elementos finitos de las partes más exigidas por cargas estáticas y de trabajo. También se analizó la carga útil y la generada por la HeMa al robot.

Habiéndose obtenido resultados satisfactorios de las simulaciones, se consiguió un diseño a nivel de ingeniería básica, el cual se encuentra en proceso de fabricación.

Design of a Manipulation and Extension Prototype Tool for Inspection and Maintenance of the CAREM SGs (Steam Generators) Tubes

The CAREM project (Argentinian Concept of Modular Reactor) seeks to automate the inspection and maintenance of the SGs (Steam Generators) tubes in order to reduce the dose rates to the operators and to reduce the amount of time devoted to this task. As part of the automation, a KUKA® QUANTEC NANO industrial robotic arm is used. One of its main characteristic is that it provides a limited scope which avoids collisions with any other element inside the containment.

However, the limited scope is restrictive for certain tasks, resulting in the need to design a tool to increase it. This tool must be capable of coupling other tools, which will be the ones that finally execute the tasks. Given that most of the tools will be used in this way, the extension tool is one of the main components within the proposed system, implying a strong interaction with the rest of the designs.

In this paper, the design of a manipulation tool (HeMa) is presented. This tool allows to expand the scope of the robot according to the requirements of the operations to be performed.

The capabilities of the robotic arm, its possible movements, working environment, and other requirements from the tools to be manipulated were analyzed. The design variants that had been obtained were tested in the DMU Kinematics and DELMIA simulation environment to verify the kinematics of the tool and to find the ideal geometric configuration.

Once defined an optimal geometry, commercial elements were selected and the different parts of the HeMa were designed, in the same way one of the complementary tools for the access to the tube plate was designed. The kinematics were analyzed, and a finite element analysis was performed on the most required parts for static and working loads. We also analyzed the load generated from the HeMa to the robot. Satisfactory results of motion simulations were obtained. It was possible to achieve a design in the basic engineering stage, which is in the process of being built.

INTRODUCCIÓN

El uso de la robótica y la automatización como un medio para incrementar la seguridad en plantas nucleares es una práctica recomendada por la OIEA [1]. Una de las grandes motivaciones es reducir la exposición de personal a ambientes peligrosos durante las tareas de inspección, mantenimiento, operación, desmantelamiento y respuestas ante accidentes. Diferentes sistemas robóticos han sido propuestos para cada uno de los ciclos de vida durante estos últimos años. El aumento de la automatización y la robótica como incremento de la seguridad hacen que estas tecnologías sean fundamentales en el diseño y construcción de la nueva generación de plantas nucleares de potencia [2].

El proyecto CAREM (Concepto Argentino de Reactor Modular) [3], como reactor de 4ta generación, incluye la automatización y robótica desde su concepción. En particular, un sistema robótico para tareas de inspección y mantenimiento de los tubos de los generadores de vapor (GVs) está en desarrollo. Dicho sistema hace uso de un manipulador robótico comercial. De esta forma, se busca aprovechar las ventajas de la precisión, repetibilidad, estándares de seguridad y confiabilidad logrados en el campo de los brazos robóticos industriales. Para el uso de una solución aplicable en el campo de la inspección y mantenimiento es necesario diseñar herramientas personalizadas y un sistema de transporte para dicho brazo robótico. La sinergia en el desarrollo del sistema solo se logra incluyendo el mismo desde las etapas tempranas del desarrollo del CAREM, lo cual a su vez implica cambios constantes en el diseño de la planta, así como en el sistema. [4]

En el presente trabajo se muestra el estado actual del desarrollo de una Herramienta de Manipulación (HeMa) para el brazo robótico KUKA QUANTEC NANO, modelo seleccionado para implementar en el sistema.

La herramienta de manipulación contribuye al trabajo técnico y científico argentino al hacer viable la utilización de un brazo robótico para inspección y mantenimiento de un reactor nuclear. El robot es lo suficientemente chico de manera que el área de trabajo no genere interferencias con el entorno, pero esto a su vez imposibilita realizar determinadas tareas.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El propósito del sistema de inspección y mantenimiento es poder llevar a cabo todas las tareas de inspección y mantenimiento de los GVs de manera automatizada. Para realizar estas tareas se plantea la utilización de una celda robótica comandada por un PLC SIEMENS S7, con una interfaz de usuario para permitir el control y seguimiento de las tareas y procesos a realizar. El robot a utilizar es un robot industrial modelo KUKA KR 160 R1570 QUANTEC NANO [5] con un intercambiador de herramientas rápido, modelo Schunk SWS-L 210 [6]. Particularmente, en este trabajo, el desarrollo se centra en una herramienta capaz de alcanzar la placa tubo de los GV la cual se encuentra más allá del área de alcance del brazo robótico.

1.1. CONDICIONES

El estado operativo del reactor es el de parada fría, aunque aún no se ha determinado el detalle de las condiciones en la que se encontrara la planta. Además, se removieron todas las posibles aislaciones que puedan existir sobre las bridas ciegas del GV. El robot ya se encuentra posicionado sobre en una posición de trabajo firme frente al plenum con la brida ciega retirada. Se hace notar que se cuenta con la presencia de todos los espárragos de la brida como se muestra en la Figura 1. La posición del brazo robótico y las envolventes del área de trabajo del robot se muestra en la Figura 2 y Figura 3.

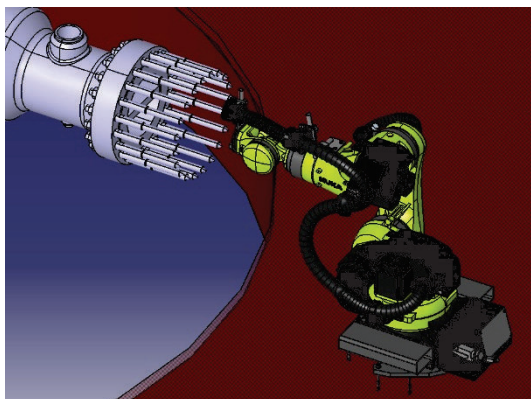


Figura 1: brazo robótico en entorno de trabajo simulado

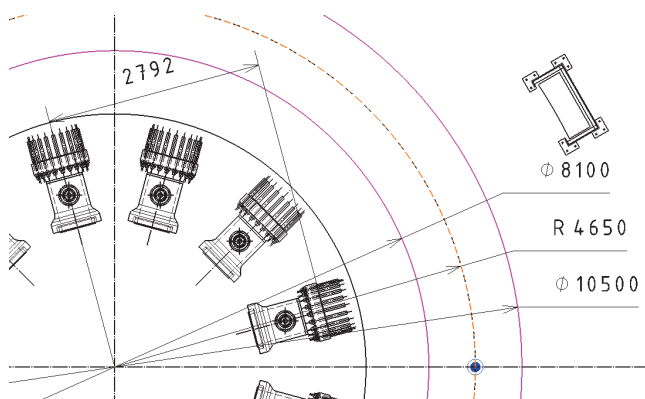


Figura 2: Posición del frente de brida (sin brida ciega) con respecto al centro. Radio de centro de vías 5,65m. Distancia entre centro de vías al frente de brida 1858 mm.

1.2. TAREAS A REALIZAR Y REQUERIMIENTOS DEL PROBLEMA

Las tareas que se deben realizar dentro del plenum son las siguientes:

- Inspección de soldadura de la placa tubo.
- Inspección de soldadura de placa separadora de fase.
- Inspección de soldadura de acometida.
- Extraer/colocar dispositivos de pérdida de carga alojados en la placa tubo en la parte inferior.
- Inspección de los tubos de los Gvs.

De todas las tareas nombradas se estimó que la herramienta que genera mayores cargas es la herramienta para extraer los dispositivos de pérdida de carga. El

torque máximo que debe realizar es de 50Nm, lo que conlleva un subsistema de accionamiento de aproximadamente 25 kg. Debido a las dimensiones de las herramientas que se deben utilizar para realizar las tareas y la geometría del entorno de trabajo se decidió trabajar mayormente por fuera del plano que definen los extremos de los espárragos. Esto significa tener una distancia de 1.604mm desde dicho plano a la placa tubo. Una imagen de la Herramienta Extractor de dispositivos de Pérdida de Carga (HEPeC) en desarrollo se muestra en la Figura 4.

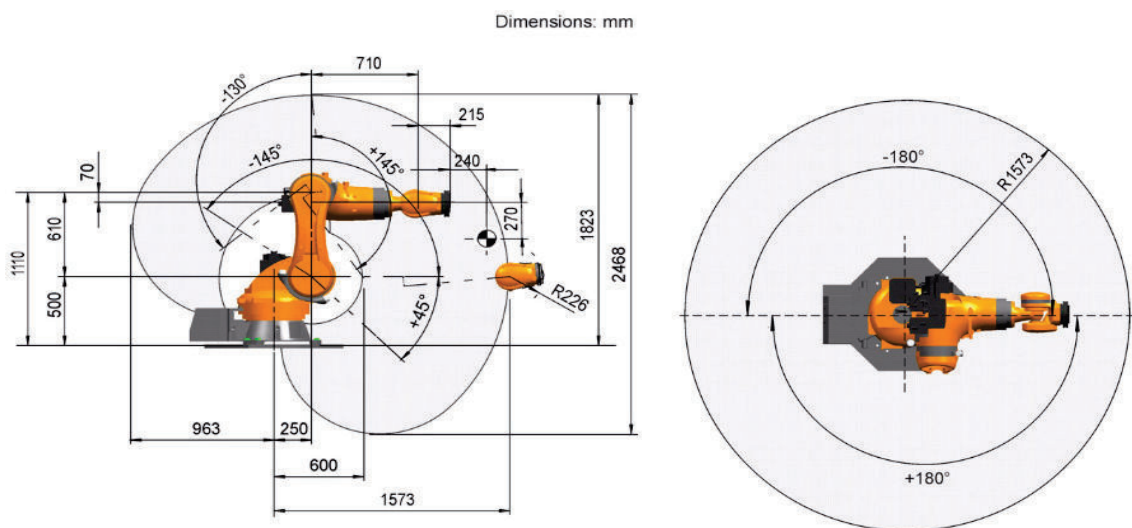


Figura 3: Envolvente de trabajo del modelo KUKA KR 160 RI570 nano. El ángulo de +/-180 va a ser de +/-160.

Para el ingreso de la sonda de inspección a los tubos de los GVs, así como la inserción/extracción de los dispositivos de pérdida de carga, se prevé utilizar máscaras de tubos que repliquen la distribución de los orificios de la placa tubo. En la Figura 5 se muestra uno de estos extensores de tubos dentro del plenum. En particular, el extensor para ingresar la sonda se estimó

como el de mayores requerimientos dimensionales para el diseño de la HeMa.

Un requerimiento especial que surge a la vista es no sobrepasar la capacidad de carga útil del robot con el conjunto formado por la HeMa y la herramienta que esté manipulando. La curva de carga se presenta en la Figura 6 y Figura 7.

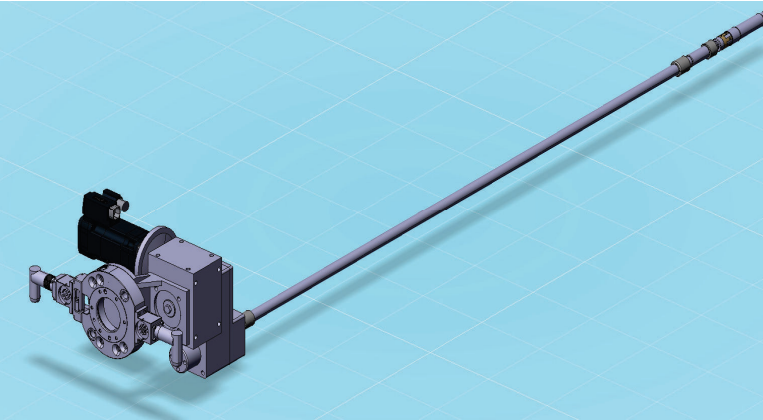


Figura 4: Herramienta Extractor de dispositivos de Pérdida de Carga (HEPeC) en desarrollo

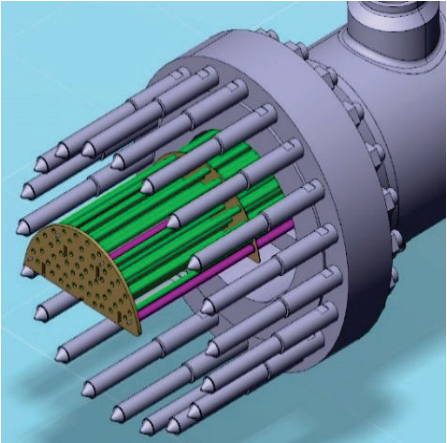


Figura 5: Un modelo de extensor de tubo dentro del plenum

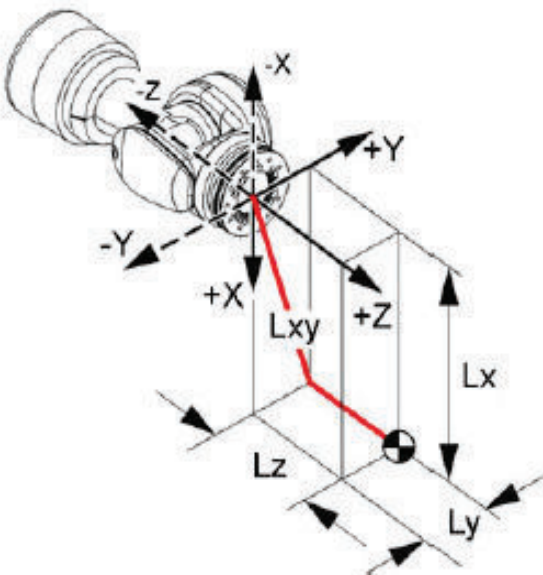


Figura 6: Posición del centro de gravedad de la carga

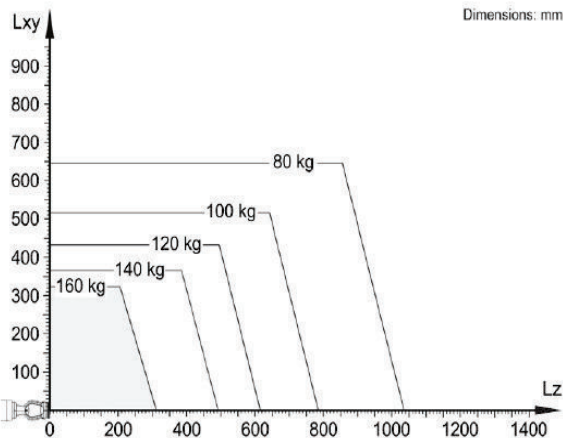


Figura 7: Diagrama de carga útil

En resumen, se tomaron como requerimientos de diseño:

Requerimientos funcionales:

- Una vez posicionada la HeMa frente a la brida debe ser capaz de proveer un recorrido con una distancia útil mínima de 1610mm.
- El movimiento lineal debe poder realizarse con una velocidad máxima de 0.2m/s.

Requerimientos no funcionales:

- Debe poder adaptarse al robot mediante un modelo de brida normalizada compatible de intercambiador rápido de la marca Schunk SWS-L 210.
- Debe ser capaz de adaptarse a las herramientas y accesorios que debe manipular.
- La herramienta en conjunto con sus conexiones de alimentación, el adaptador al sistema de intercambio del robot y las herramientas a llevar no debe representar una carga mayor a 160Kg y de acuerdo a las capacidades del robot.
- Debe ser capaz de soportar una carga de 500N y un momento de 50Nm durante el accionamiento de la herramienta extractor de dispositivos de pérdida de carga.

2. DISEÑO CONCEPTUAL

Según los requerimientos se buscaron los elementos comerciales que mejor se adapten. Luego, de acuerdo con las dimensiones, pesos característicos y morfología del robot se esquematizaron las envolventes y posibles configuraciones de los elementos. Se planteó una herramienta que integre como componente principal una guía lineal soportada lateralmente por el robot.

Las envolventes de la herramienta de muestran esquemáticamente en la Figura 8. Se tomó como referencia un largo de 1600mm para la HeMa y para el extensor de tubos. Se colocaron inicialmente dos acoples rápidos en ambos laterales, aunque posteriormente se terminó descartando uno de ellos. Los acoples rápidos se ubicaron a mitad del largo como posición inicial para luego iterar, a través de la simulación de operación con el robot, hasta encontrar la posición que resultase de mayor conveniencia. Otro diseño alternativo y con detalles respecto a la posición del motor y la dimensión de la guía lineal se muestra en la Figura 9.

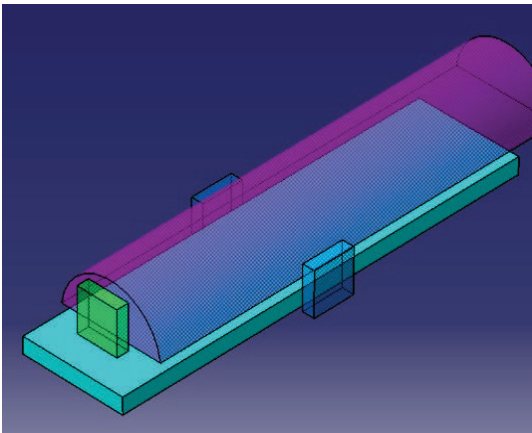


Figura 8: Envolvente de la HeMa. Azul: Acople rápido de la HeMa al robot. Celeste: Estructura soporte y guía lineal. Verde: Acople de la HeMa a otras herramientas.

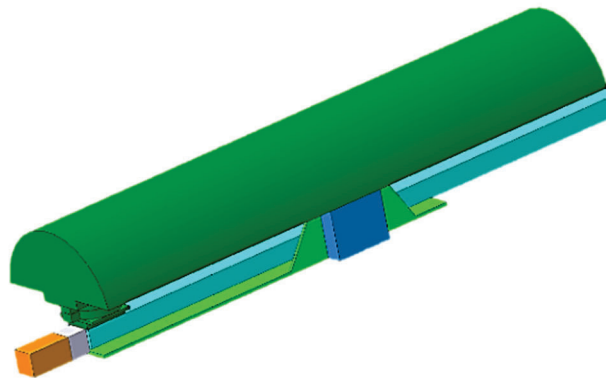


Figura 9: diseño conceptual alternativo de la HeMa. Azul: Acople rápido de la HeMa al robot. Celeste: Guía lineal. Naranja: Motor. Verde claro: Estructura soporte. Verde oscuro: Un diseño del extensor de tubos con un acople rápido horizontal.

Característica	Valor
Momento de Carga dinámico M_t	203 Nm
Momento de Carga dinámico M_L	244 Nm
Momento máx. admisible $M_{x\ max}$	203 Nm
Momento máx. admisible $M_{y\ max}$	244 Nm
Momento máx. admisible $M_{z\ max}$	132 Nm

Mediante la simulación de operaciones con el robot se determinaron algunas dimensiones características. Del análisis se desprende la necesidad de un desplazamiento excéntrico característico del robot con respecto al eje del plenum. Esto es para que al introducir el extensor de tubos no existan colisiones. De igual manera también se determina una distancia del frente de la HeMa al acople rápido del robot de 550mm aprox. Se vio además que la mejor posición del motor es paralela a la guía lineal en el extremo frontal de la HeMa. Por otro lado, también se decidió tomar el extensor de tubos del lado frontal, mediante un dispositivo de acople.

Se prevé la utilización de apoyos adicionales en el caso de las herramientas de mayor longitud. Los mismos se ubicarían en el extremo frontal de la HeMa.

Característica	Valor
Momento de Carga dinámico M_t	203 Nm
Momento de Carga dinámico M_L	244 Nm
Momento máx. admisible $M_{x\ max}$	203 Nm
Momento máx. admisible $M_{y\ max}$	244 Nm
Momento máx. admisible $M_{z\ max}$	132 Nm

Tabla I: Datos técnicos generales. Sistema de referencia en Figura 9

3. COMPONENTES COMERCIALES PRINCIPALES

Se seleccionó una guía lineal REXROTH CKR-090 [7], cuyos datos se muestran en la Tabla 1. La longitud de carrera total de la guía lineal es de 1860mm. En base a los datos de la dinámica de la guía lineal se seleccionó un motorreductor SIEMENS S-1 FK7, con interfaz *drive cliq* para ser controlado mediante el PLC de control de la celda robótica. Como acople rápido de conexión se escogió el QC-76 de ATI® con módulo de señales. También se seleccionó la cadena portacables Igus® TipoR100 Serie R117.

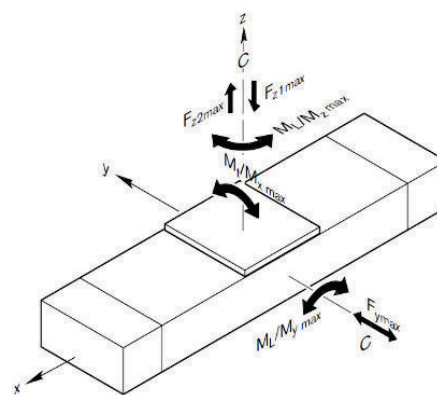


Figura 9: Sistema de referencia del fabricante de la guía lineal

4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL

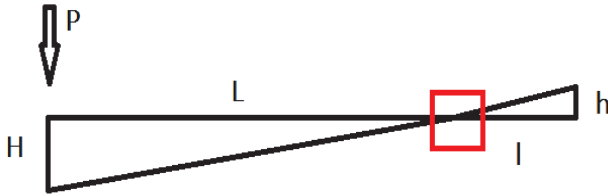
4.1. Análisis de resistencia a la flexión

Al ser la HeMa una herramienta de largo considerable y solo sujeta en un punto, es importante analizar la flexión de la estructura. Se consideran para la deflexión las siguientes estimaciones:

- Una deformación en la que la estructura principal no se curva,
- Desplazamiento máximo de 1 mm en el frente de la herramienta, $h = 1\text{ mm}$.
- Distancia del frente de la HeMa al acople al robot de 550mm, $l = 550\text{ mm}$.
- Distancia del acople del robot al punto más alejado donde se puede posicionar la carga de 1600mm, $L = 1600\text{ mm}$.

Mediante la relación para triángulos semejantes se estima una deflexión máxima permitida de:

$$H = \frac{h}{l} L = 2,9mm$$



Se decidió soportar la guía lineal con un perfil rectangular de acero de 180mm por 50mm y 4 mm de espesor. Se modeló entonces como una viga en voladizo, en un solo plano, de largo $L = 1600mm$, con una carga de $P = 500N$ en la punta. Esto dio como resultado un valor de deflexión $0,05mm$ por debajo del máximo establecido. Se procede entonces a realizar un modelo más representativo mediante elementos finitos.

4.2. Modelo para análisis mediante elementos finitos

El modelo y análisis por elementos finitos se llevó a

cabo utilizando el software Abaqus CAE [8] y en todos los casos se utilizaron elementos hexaédricos. Dado que la mayor carga la representan la HEPeC, el análisis se hizo con dos posiciones de esta:

1- Posición totalmente retraída, solo peso propio

2- Posición de trabajo, en el frente de la HeMa.

Guía Lineal: Como aproximación se modeló la guía lineal como un perfil de aluminio hueco rectangular de 110mm por 50mm y 1mm de espesor. Para el análisis se priorizó la deflexión vertical ($I_y \cong I_{y,modelo}$), pues al ser el I_z del modelo 3,4 veces menor que el real, los resultados en este sentido no son representativos.

Soporte estructural: Perfil rectangular de acero 180mm por 50mm y 4 mm de espesor. Sujeto por un brazo al acople rápido (de la HeMa al robot) fabricado de una chapa de 10mm de espesor. La cara del brazo donde se ubica el acople rápido se consideró encastrada. Figura 10.

Cargas: Tomando como punto de aplicación de las cargas el centro de masa de la HEPeC se conectaron a la guía lineal considerando una conexión tipo estructural sobre una superficie equivalente al carro de la guía lineal. Esto se hizo para las dos posiciones de referencia como se muestra en la Figura 11. Las cargas aplicadas en cada punto se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Cargas Aplicadas sobre la HeMa.

Carga	RP 1	RP 2
P	500 N	500 N
M_z	50 Nm	50Nm

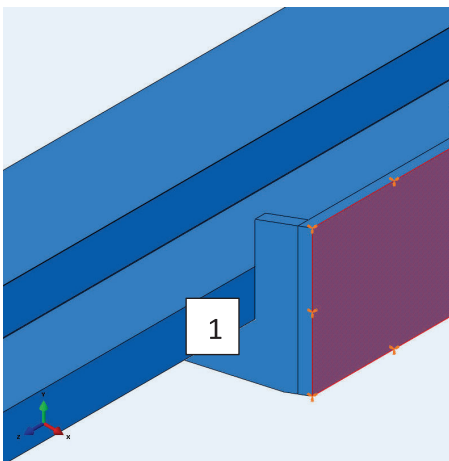


Figura 10: Brazo de soporte de la HeMa al robot (1). Condición de borde tipo encastre

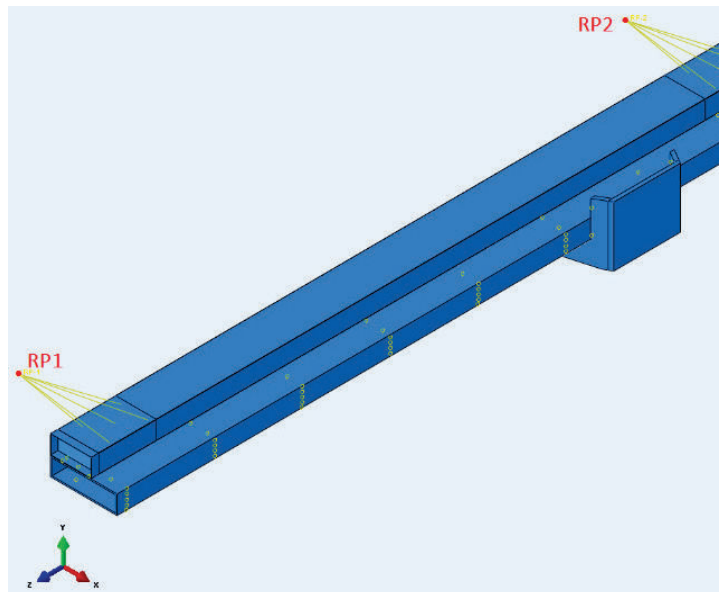


Figura 11: Modelo de guía lineal (perfil rectangular superior) con los puntos de carga de referencia o posición de trabajo en ambos extremos. Modelo de estructura soporte (Perfil rectangular inferior) sujeto a través del brazo lateral al acople rápido al robot

4.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Los resultados con la carga aplicada en el punto de referencia RP1, se muestran en las Figura 12 y Figura 13. Se observa que la tensión máxima de Mises es de 25MPa, es decir, por debajo de la tensión admisible del acero. La máxima deformación por flexión para el caso de análisis es de 2,4mm en el punto de aplicación de la carga. Este valor está dentro de lo que se consideró admisible. Además, notamos que no hay desplazamiento en el frente.

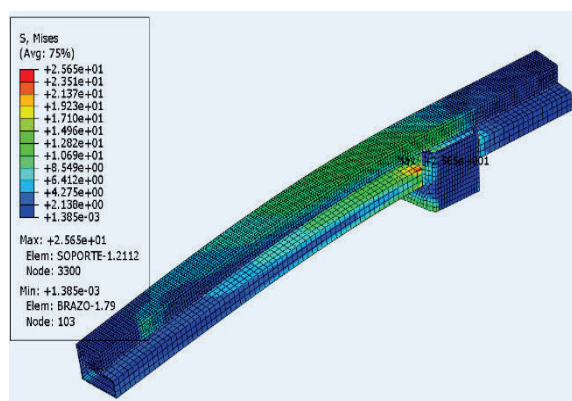


Figura 12: Tensión de Mises en la estructura para la posición RP1

Los resultados al aplicar la carga en el punto de referencia RP2, se muestran en las Figura 14 y Figura 15. Se observa que la tensión máxima de Mises es de 21MPa, nuevamente por debajo de la tensión admisible del acero. La deformación por flexión para el caso de análisis es de 0,24mm.

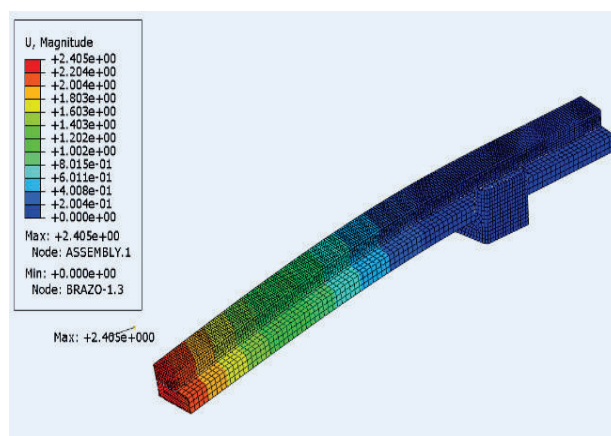


Figura 13: Deformación debido a la flexión en la estructura para la posición RP1

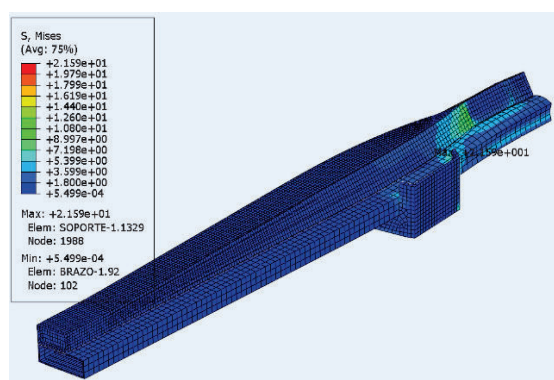


Figura 14: Tensión de Mises en la estructura para la posición RP2

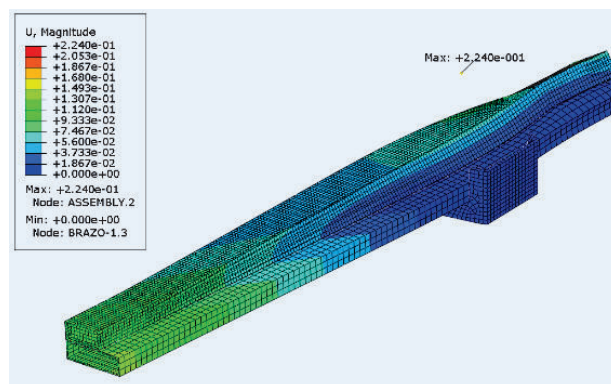


Figura 15: Deformación debido a la flexión en la estructura para la posición RP2

5. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO FINAL

Como consecuencia de la definición exacta de las geometrías de las herramientas a manipular, se procedió a elaborar un diseño más detallado de la HeMa. Sin embargo, se tomaron como válidos los resultados por elementos finitos, debido a que la disposición general de los elementos se mantiene prácticamente intacta y que las condiciones geométricas y de rigidez son todavía más favorables que en el modelo anterior.

Entre las modificaciones que se realizaron sobre la estructura, la más relevante es el acercamiento de la guía lineal al acople del robot, cambiando de lado la posición

del motor de accionamiento, pero disminuyendo el brazo de palanca que el conjunto ejerce sobre el robot. El diseño se muestra en la Figura 16.

De los resultados del análisis por elementos finitos se desprende que puede ser necesario un aumento en la rigidez de la estructura en la parte frontal de la HeMA. Esto teniendo en cuenta la situación de carga máxima de la HEPeC en dicho extremo. De momento solo se agregaron contrapesos para mejorar la posición del centro de masas del conjunto, pero se entiende que el diseño da un margen para realizar modificaciones si hicieran falta.

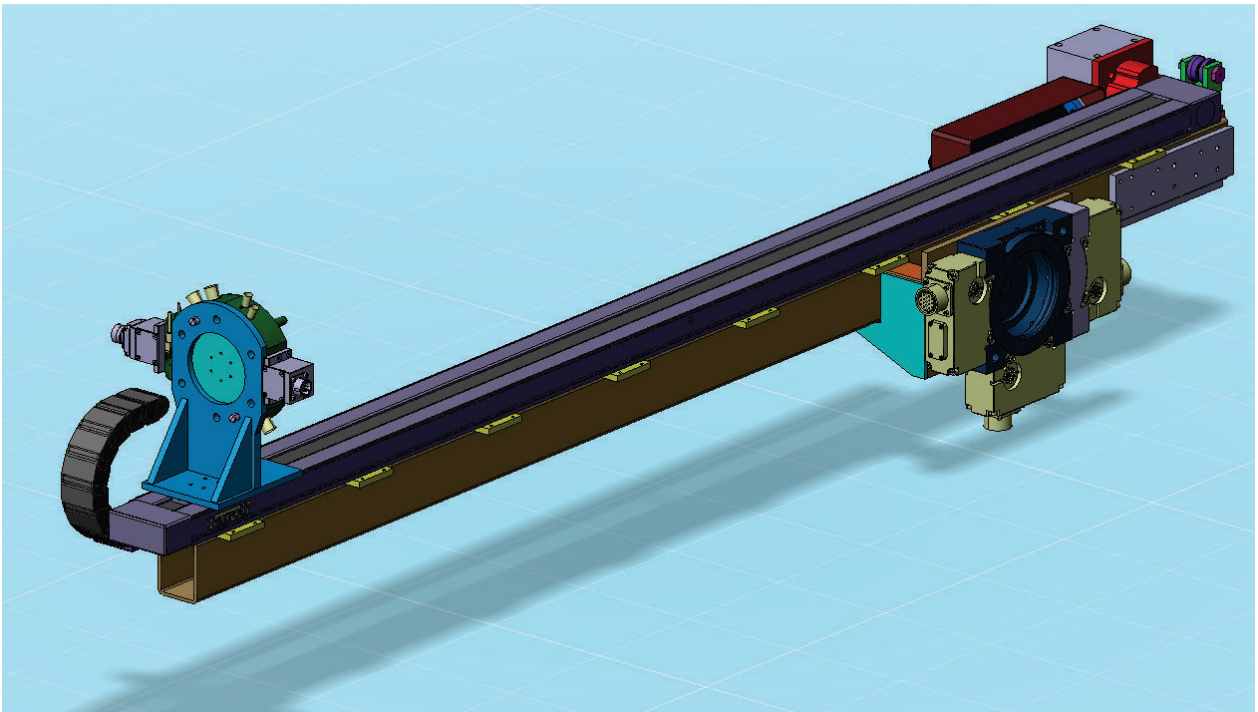


Figura 16: Diseño final del prototipo

5.1. Análisis de cargas generadas en el robot

Del diseño de la estructura y las posiciones de los elementos comerciales se determinaron las posiciones de los centros de masa de cada componente. Se calculó también el peso de la HEPeC y se determinó su centro de

masa pudiendo estimarse así un centro de masa equivalente referenciado al extremo del eslabón 6 del robot, como se muestra en la Figura 8. Los datos calculados de muestran en laTabla 3.

Tabla 3: Centro de Masa de la HeMa y HEPeC en el punto más alejado con respecto al eslabón 6 del robot

Centro de masas HEMA + HEPeC		
	HeMA retraíd	HEPeC en posición de Trabajo + 50 Nm (accionamiento)
Masa total	98,5 kg	
Lx	-110 mm	-110 mm
Ly	425,5 mm	69 mm
Lz	170 mm	170 mm
Lxy	439 mm	130 mm
Mz	164 Nm	175 Nm

De la hoja de datos del robot se estima un momento máximo a soportar en base al centro de masa para una carga de 160kg donde este valor es de 320 Nm en la

dirección z (Figura 6). Del análisis de cargas se encuentra que el conjunto HeMa - HEPeC no representa una carga crítica para el robot.



Figura 17: Fotografía de la HeMa montada en el estante de herramientas

5.2. Fabricación del prototipo

En la actualidad se encuentra fabricado y en proceso de ensamblaje en el Laboratorio de Robótica del Centro Atómico Bariloche. En etapas inmediatas se realizarán

los ensayos pertinentes. Algunas fotografías de la herramienta fabricada se muestran en la Figura 17 y Figura 18.

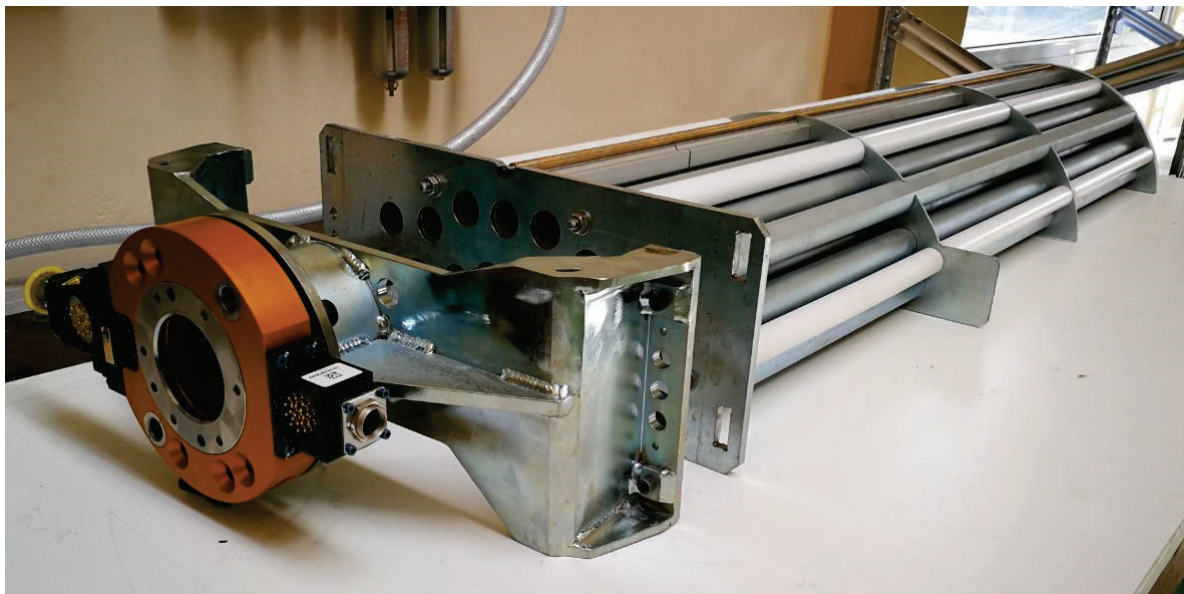


Figura 18: Fotografía del extensor de tubo junto con una de las herramientas de agarre

6. CONCLUSIONES

Se logró obtener el diseño de un prototipo, en etapa de ingeniería básica, de una herramienta de manipulación de 1610mm de recorrido lineal para un brazo robótico industrial, con acople rápido a otras herramientas. Se obtuvieron resultados satisfactorios de simulaciones de movimiento dentro del entorno de trabajo, así como de rigidez estructural utilizando métodos de elementos finitos. La fabricación de los componentes y la integración se está realizando de forma satisfactoria.

7. REFERENCIAS

- [1] N. P. E. Section, Nuclear power plant outage optimization strategy, International Atomic Energy Agency, Wagramer Strasse 5, Vienna, Austria, Tech. Rep. IAEA-TECDOC-1315, Oct. 2002.
- [2] L. P. Houssay, Robotics and radiation hardening in the nuclear industry, Master's thesis, University of Florida, August 2000.
- [3] CNEA. (2011, Feb.) Argentinian Nuclear Power Plant. [Online]. Available: <http://www.youtube.com/watch?v=hbVqrMwVhaU>

[4] Sol Pedre, Alexandre Semine, Tobias Quispe Mamani, Alejandro Nunia, Enrique Boroni Alexander Leaño, Chars Trujillo Sheider, Luis Rovere, Robotics for maintenance of Steam Generators in a Small Modular Reactor, CARPI 2014, ISBN: 978-1-4799-6422-2, 5 de febrero de 2015, Foz do Iguassu, Brazil.

[5] KUKA. (2018) KR 160 QUANTEC NANO [Online]. Available: <http://https://www.kuka.com/en-au/products/robotics-systems/industrial-robots/kr-quantec-nano>

[6] Schunk. (2018) Robot accessories - Changing - SWS-L. [Online]. Available: <http://www.schunk.com>

[7] Rexroth (2018) CKR-090 Compact Modules. [Online]. Available: <http://www.boschrexroth.com>

[8] Dassault Systemes. (2018) Abaqus CAE [Online]. Available: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/>

Trabajo presentado en la XLIV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 21 al 25 de octubre de 2017.

Extracción de uranio de agua de mar mediante extractante en soporte sólido

KINBAUM A., CHOCRON M., ARIAS M. J. - Gerencia Química - Comisión Nacional de Energía Atómica.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un método eficiente para la extracción de uranio del agua de mar. En promedio, el U se encuentra disuelto en agua de mar en una concentración de 3,3 ppb[1][2]. Si bien esta concentración es varios órdenes menor que la del U en sus fuentes minerales, implica que en los océanos que cubren el planeta hay una reserva de U mil veces superior a la suma de todas las reservas minerales conocidas en el mundo [1]. El método tradicional de extracción por solventes, utilizado en la hidrometalurgia del uranio de origen mineral, no sería económicamente rentable (además sería altamente contaminante), debido a la baja concentración de U, y a la complejidad de la matriz. Tampoco existe una resina apropiada para este medio.

Entonces, se plantea el uso de un soporte sólido impregnado de una solución extractante (selectiva al U) para la recuperación del mineral con un lecho relleno. De esta manera, se evitan las pérdidas de solvente propias de la extracción por solventes en tanque agitado continuo y se reducen los espacios operativos.

En una primera etapa, se concluyó que la impregnación debía hacerse por método Seco[3] y que el polvo Voltalef® era un buen soporte para el extractante. Se usó una solución de agua de mar con 1 ppm de U.

El segundo trabajo incluyó dos Ensayos Factoriales ideados mediante Diseño de Experimentos (Doehlert) [4]. Se hicieron de forma *batch* en tanque agitado, y la concentración inicial de U fue 1 ppm. En el mismo, el extractante Alamine 336® arrojó mejores resultados que el TBP. La concentración óptima de extractante en kerosén fue del 10%. La mejor relación (masa extractante) / (masa sólido) fue 0,233 g/g. La elución se hizo con HNO₃, obteniendo la mayor recuperación para la concentración más alta ensayada (0,10 M).

El tercer conjunto de ensayos incluyó tanto la modalidad en *batch* como la extracción en columna, con una solución original con 5 ppm de U. Se volvió a comparar TBP con Alamine 336® y se siguió aumentando la concentración de HNO₃ en la elución. Los ensayos de carga en columna arrojaron resultados de capacidad de carga máxima (en masa) de 4,60E-02 mgU/g (polvo impregnado). En el ensayo *batch*, la carga máxima fue de 4,27E-02 mgU/g. El aumento en la concentración de ácido del eluyente mejoró la recuperación final de U logrando una recuperación máxima de 12,6% con una concentración 1,00M de HNO₃.

Finalmente, se hicieron las curvas de carga y descarga de una columna del sólido impregnado con Alamine 336®. La carga se hizo buscando la saturación de la columna y la descarga con un volumen fijo de eluyente. La capacidad de carga de la misma fue de 3,56 meq/mL lo que se traduce en 7,68 E-01 mgU/g. Se logró una recuperación del 5% del U retenido mediante la elución. En paralelo con esto, se desarrolló un método analítico para medir U en agua de mar con mayor precisión (haciendo una purificación con Éter Etílico a fin de eliminar interferencias). La evaluación global de los ensayos muestra que la selectividad del Alamine 336® hacia el U fue elevada aún en agua de mar, y que la metodología de extracción de U mediante soporte sólido impregnado es viable para la recuperación de U de agua de mar.

Uranium Extration from Seawater by Extractant in Solid Support

The aim of this work is to develop an efficient method for the extraction of uranium from seawater. In average, U is dissolved in seawater in a concentration of 3.3 ppb[1][2]. It is true that this concentration is several times smaller than that of mineral reserves; however, this implies that there is a thousand times more U in the oceans than in the whole mineral reserves of the world[1]. The traditional method of solvent extraction -used in the hydrometallurgy of the uranium of mineral origin- would not be economically profitable (in addition, it would be highly polluting), due to the low concentration of U and the complexity of the matrix. Nor is there an appropriate resin for this medium.

Then, the use of a solid support impregnated with an extractant solution (U-selective) for the recovery of the mineral with a packed-bed column is proposed. In this way, solvent losses from solvent extraction in a continuous stirred tank are avoided and operating spaces are reduced.

In a first step, it was concluded that the impregnation should be done by Dry method[3] and that Voltalef® powder was a good support for the extractant. A seawater solution with a U concentration of 1 ppm was used.

The second work included two Factorial Tests devised by Design of Experiments (Doehlert)[4]. They were batch experiments in stirred tanks, and the initial concentration of U was 1 ppm. In these tests, the extractant Alamine 336® showed better results than the TBP. The optimum extractant concentration in kerosene was 10%. The best ratio (extractant mass) / (solid mass) was 0.233 g/g. The elution was done with HNO₃, obtaining the highest recovery for the highest concentration tested (0.10 M).

The third set of assays included both batch mode and column extraction with an original U solution with a concentration

of 5 ppm. TBP was compared to Alamine 336® and the concentration of HNO_3 for the elution was further increased. The column loading tests showed maximum loading capacity (mass base) of $4.60\text{E-}02$ mgU/g (impregnated powder). In the batch test, the maximum loading was $4.27\text{E-}02$ mgU/g. The increase in the acid concentration of the eluent improved the final recovery of U achieving a maximum recovery of 12.6% with a concentration of 1.00 M HNO_3 .

Finally, the loading and stripping curves of a packed-bed column filled with the solid impregnated with Alamine 336 were conducted. The loading was performed looking to saturate the column and the stripping process with a fixed volume of eluent solution. The loading capacity reached a maximum of 3.56 meq/mL, which is equivalent to $7.68\text{E-}01$ mgU/g. The recovery of U by elution reached a maximum value of 5% of U in column. In parallel with this, an analytical method was developed to measure U in seawater with improved precision (doing purification with Ethyl Ether in order to avoid interferences). The overall evaluation of the tests shows that the selectivity of Alamine 336® to the U was high even in seawater, and that the methodology of U extraction by impregnated solid support is viable for the recovery of U from seawater.

1. Introducción

En la actualidad, hay un gran interés en desarrollar mecanismos para extraer U del agua de mar. Según Rao, L., allí se encuentra en muy bajas concentraciones, pero dada la enorme masa oceánica en el planeta, la cantidad de U disuelto en la misma es aproximadamente 1.000 veces superior a la estimada en todas las reservas mineras conocidas^[1]. En la minería del uranio, el mismo es extraído del mineral por lixiviación y luego purificado. Un método convencional de purificación es la extracción por solventes. Dos extractantes con demostrada eficiencia en este método son Alamine 336® y TBP (tributil-fosfato)^[2]. El otro método convencional comúnmente usado en la hidrometalurgia del U es la extracción por resinas de intercambio. Este último, se realiza haciendo circular la solución de lixiviado por una columna de lecho empacado, la cual contiene una resina selectiva. El planteo en este trabajo es combinar ambos métodos para una extracción no convencional de U del agua de mar.

1.1. Antecedentes

Rao, L., enumeró distintas experiencias en Asia y Europa. En Japón se hicieron ensayos con fibras de amidoxima. Los mismos, consistieron en dejar sumergida la fibra durante un plazo que varió de días a meses, para luego recuperar el U adsorbido por elución. Lograron una recuperación máxima de 1.5 g-U/Kg-ad. En La India se experimentó la extracción de U de la salmuera obtenida como residuo en procesos de desalinización de agua de mar. Se probó injertando distintas matrices sólidas con la sustancia calixareno, un extractante altamente selectivo al U, pero también muy costoso. Aún no hay informes sobre los resultados finales. En China se hicieron ensayos a fines de la década de 1970 y principios de 1980. Se estudió con el objetivo de realizar tratamiento de aguas. No se realizaron ensayos en escala

piloto de extracción de U. Probaron con óxido de titanio hidratado, hidróxido de aluminio, y específicamente para agua de mar, con poliacrilamidoxima y quitina. A principios de la década de 1980 se estudiaron en Alemania alrededor de 200 adsorbentes en lecho fluidizado para recuperación de U de agua de mar. El más promisorio fue la poli(acrilamidoxima) llegando a adsorber hasta 3.000 ppm de $\text{U}^{[1]}$.

1.2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es desarrollar un método efectivo para la extracción y posterior recuperación del uranio presente en el agua de mar, trabajando de forma continua.

2. Desarrollo

2.1. Diseño de experimentos-Ensayos batch

Como punto de partida, se sintetizó agua de mar en el laboratorio, siguiendo la normativa de la Indian Standards Institution (2003)^[5]. Posteriormente, se la dopó con 1 ppm de uranio. Se evaluaron dos tipos de extractantes: Tri-butil-fosfato, (TBP, sus siglas en inglés) y Alamine 336® (amina terciaria), ambos destacados por Gupta, K. C., Singh, H., (2010) por su elevada selectividad hacia el $\text{U}^{[2]}$. Como soportes, se evaluaron el Voltalef® (polvo para moldear) y la resina de intercambio Amberlite XAD4. Como métodos de impregnación, se probaron los métodos húmedo y seco.

La capacidad de carga y descarga de U se estudió por medio de un Diseño Factorial de Experimentos^[4]. La extracción se hizo por agitación batch, con el sólido impregnado disperso en la solución. Luego de dos lavados con agua nanopure, se hizo la recuperación de U desde el adsorbente (elución) con ácido nítrico (HNO_3). El método de medición usado fue Fluorescencia Total de Rayos X (TXRF).

Ensayos de impregnación

Se estudiaron dos mecanismos de impregnación, método Húmedo y método Seco^[3]. El método Seco consta de una agitación del sólido en el solvente durante 2 horas y posterior evaporación con aplicación de calor. El método Húmedo requiere de una agitación de mayor cantidad de horas (en estos ensayos se estableció el tiempo en 8 horas) y luego es necesario realizar una filtración y lavado del sólido con agua nanopure. El secado de este último método se realiza a temperatura ambiente.

De forma visual, al comparar ambos soportes sólidos se observó que, tanto por la coloración final obtenida como por los restos de solvente en el lavado, el Voltalef® impregna mejor al extractante, y el método Seco es más efectivo para impregnar al sólido. Esto último fue confirmado con ensayos rápidos de extracción de U.

Con los resultados obtenidos hasta el momento se descartó el uso de la resina como soporte sólido y se optó por el polvo Voltalef®, impregnado por método Seco.

Ensayo Factorial

Se hicieron dos diseños de experimentos *full factory* (tres factores, o variables, y dos niveles, $2^3 = 8$ ensayos), uno con TBP como extractante, y otro con Alamine 336®. Los factores a evaluar fueron:

- Concentración de extractante en el solvente (música).
- Cantidad de extractante en la impregnación.
- Concentración de HNO₃ en la solución usada para reextracción.

Al segundo factor, se lo dividió por un coeficiente (%extractante en solvente/100%) para independizarlo del primero.

Factor		Niveles	
		-	+
A	% extractante	5	25
B	gr extr/gr Volt.%extr	1.96	2.33
C	Conc. HNO ₃ elución (M)	0.001	0.100

Tabla I: variables ensayadas y sus niveles

Se hicieron los ensayos de extracción de U usando 1.0 g de polvo impregnado para cada ensayo. Siguiendo el diseño experimental, se realizaron 4 ensayos por vez, haciendo la división de manera de evitar un bloqueo (se combinaron los niveles para evitar que la experiencia

fuera afectada por factores externos). El volumen de solución dopada fue de 20 mL por ensayo. Para la elución, se decidió usar 10 mL de solución de HNO₃ para concentrar el U. Se hizo el análisis de la recuperación global de U, que se muestra a continuación:

Ensayo	[U] en ppm	% recupero
1	0.000	0.0
2	0.681	34.4
3	0.015	0.8
4	0.000	0.0
5	0.024	1.2
6	0.656	33.1
7	1.299	65.6
8	1.284	64.8
9 (centro)	1.442	72.8
10 (centro)	1.564	79.0
11 (centro)	1.539	77.7
12 (centro)	1.330	67.2

Tabla 2: Resultados de la extracción con Alamine® 336

Ensayo	[U] en ppm	% recupero
1	0.016	0.8
2	0.020	1.0
3	0.108	5.5
4	0.024	1.2
5	0.035	1.8
6	0.021	1.1
7	0.169	8.5
8	0.177	8.9
9 (centro)	0.018	0.9
10 (centro)	0.015	0.8
11 (centro)	0.009	0.5
12 (centro)	0.006	0.3

Tabla 3: Resultados de la extracción con TBP

Los porcentajes de recuperación en las tablas 2 y 3 fueron calculados considerando 100% al total de U disuelto en el volumen de solución dopada utilizada en cada ensayo. Mediante un análisis de los resultados de extracción se concluyó que el Alamine 336® tiene una

eficiencia mayor al TBP.

Para establecer la zona óptima de trabajo se hicieron 2 ensayos más con Alamine 336®, con el máximo nivel de los factores B y C; y valores de 15% y 10% para A.

Ensayo	[U] en ppm	% recuperación
13	0.000	0.0
14	1.799	90.9

Tabla 4: Nueva extracción con Alamine® 336

Se alcanzó una recuperación máxima del 90.9% con las condiciones optimizadas que se describen a continuación:

% extractante	10
gr extr/gr Volt.%extr	2.33
Conc. HNO ₃ elución (M)	0.100
Extractante	Alamine 336®
Matriz sólida	Voltalef (polvo)
Método Impregnación	Método Seco

Tabla 5: Condiciones optimizadas

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se observa que el Alamine 336 ® tiene mayor capacidad de carga de uranio que el Tri-Butil-Fosfato para la extracción en agua de mar sintética.

Solución madre	Conc. de U en solución (ppm)	Conc. de HNO ₃ (molar)	Capacidad de carga (mg U/ g)
Agua de mar sintética	1.00	0.10	TBP 1.77E-03
			Alamine 336® 1.47E-02

Tabla 6: Capacidad de carga de cada sólido impregnado en base a los resultados

2.2. Ensayo en columna de lecho fijo-Agua de mar

Posteriormente, se ensayó la extracción en columna de lecho fijo para ambos extractantes. Se armaron dos columnas de lecho relleno utilizando Voltalef® impregnado, del extractante TBP en una, y de Alamine 336® en la otra. Se usó agua de mar natural (de la costa

argentina). Se aumentó la concentración inicial a 5 ppm de uranio para analizar un posible aumento en la capacidad de carga, hasta saturación. El volumen circulado en cada columna fue de 30 mL, por goteo. La elución se hizo con HNO₃ 0.1 M. La duración total del ensayo fue de 3 horas. Se muestran en la siguiente tabla los resultados obtenidos:

Solución madre	Conc. de U en solución (ppm)	Conc. de HNO ₃ (molar)	Capacidad de carga (mg U/ g)	% de recuperación U en elución
Agua de mar	5.00	0.10	TBP 6.25E-02	0.18/0.10*
			Alamine 336® 4.60E-02	0.67/0.31*

Tabla 7: Resultados de la primera extracción en columna

*Respecto a retenido en sólido/Del total en solución

Aun amentando la concentración de U en el agua de mar la capacidad de carga no se vio perjudicada, sino que aumentó considerablemente. La recuperación de U

en la elución no fue satisfactoria. Una de las posibles causas de la baja recuperación de U en la elución pudo haber sido el reemplazo de agua de mar sintética por agua

de mar natural, por lo que para descartar esta posibilidad se realizó un nuevo ensayo con agua de mar sintética.

2.3. Ensayo en columna-Agua de mar sintética

Se reemplazó el agua de mar por una solución sintética, con la misma concentración inicial de U. Se aumentó la concentración del eluyente (HNO_3) a 0.5 M

con la intención de mejorar la recuperación de U retenido en columna. Como extractante, se tomó la decisión de trabajar sólo con Alamine 336®, que tuvo una eficiencia en recuperación de U mucho mayor al TBP, en los ensayos *batch* de la primera etapa. En este ensayo, y en todos los posteriores, el volumen usado de solución dopada fue de 25 mL. Los ensayos de columna tuvieron una duración aproximada de 3 horas.

Solución madre	Conc. de U en solución (ppm)	Conc. de HNO_3 (molar)	Capacidad de carga (mg U/ g)	% de recuperación U en elución
Agua de mar sintética	5.00	0.50	4.46E-02	7.2/3.9*

Tabla 8: Resultados de extracción en columna con agua de mar sintética

*Respecto a retenido en sólido/Del total en solución

La carga de U en el sólido impregnado fue similar a la obtenida con agua de mar real. En principio, se puede afirmar que la baja recuperación de U en la elución, en el

ensayo anterior, no habría sido consecuencia del uso de agua de mar real. Se comparan ambos casos en la Tabla 9:

Solución madre	Conc. de U en solución (ppm)	Conc. de HNO_3 (molar)		Capacidad de carga (mg U/ g)	% de recuperación U en elución
Agua de mar	5.00	0.10	TBP	6.25E-02	0.18/0.10*
			Alamine 336®	4.60E-02	0.67/0.31*
Agua de mar sintética	5.00	0.50	Alamine 336®	4.46E-02	7.2/3.9*

Tabla 9: Comparación de resultados en columna

Con la intención de descartar que la mejora en la reextracción no se deba al uso de una solución sintética, y sí al aumento de concentración de ácido en la elución, se hizo un nuevo ensayo *batch*. La modalidad *batch*

asegura mayor tiempo de contacto y evita pérdidas de eficiencia por reducción en la superficie de contacto (como ocurre en columna). Se volvió a aumentar la concentración de HNO_3 , esta vez hasta 1.00 M.

Solución madre	Conc. de U en solución (ppm)	Conc. de HNO_3 (molar)	Capacidad de carga (mg U/ g)	% de recuperación U en elución
Agua de mar	5.00	1.00	4.27E-02	12.6/25.0*

Tabla 10: Resultados de extracción en *batch* con agua de mar

*Respecto a retenido en sólido/Del total en solución

2.4. Ensayo en *batch*-Agua de mar

El ensayo tuvo una duración de 6 horas. La capacidad de carga obtenida en este último ensayo fue

del orden de las anteriores. Se observa que, al usar una concentración de HNO_3 de 1,00 M para la elución, la recuperación final de U se incrementó hasta un 12.6% respecto del total en agua de mar. Esto se corresponde con

un 25% de la cantidad de U retenido en columna. Esta es la mayor recuperación del mineral alcanzada en estas experiencias.

2.5. Saturación de columna

Para un análisis de mayor profundidad de la columna, se preparó una con 1,50 g de polvo Voltalef® impregnado de Alamine 336® al 10%. Por la misma, se hizo circular 1,0 L de agua de mar dopada con 5 ppm de

U. Se midió el contenido de U a la salida de la columna. Los primeros 500 mL fueron recolectados en muestras de 20 mL cada una. Las muestras impares de esta primera mitad fueron analizadas mediante el método analítico FRXT (Fluorescencia de Rayos X por reflexión Total) separando y purificando el U previamente con Éter Etílico. La segunda mitad de las muestras fueron recolectadas en volúmenes de 50 mL y medidas por FRXT sin purificación previa. Luego de descartar los *outliers* se obtuvo la siguiente curva de carga:

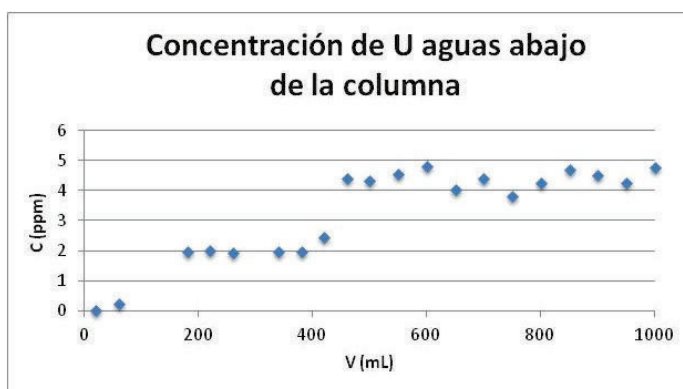


Figura 1: Curva de carga de una columna de polvo impregnado

Se observa una saturación de la columna a partir de los 460 mL de solución dopada. Los valores de la segunda etapa fueron ajustados por una constante de ajuste para eliminar el bias debido las interferencias. Estos valores oscilan cerca del valor medido de concentración de U en la solución dopada: 4,40 ppm.

2.6. Reextracción de U de la columna

Previo a la elución, se hizo un lavado con 25 mL de

agua nanopure, tomándose una muestra de la misma. La reextracción se hizo con HNO_3 5 M (la concentración más elevada usada hasta ahora). Se circularon 250 mL de solución, con el objetivo de concentrar el U a un valor superior a los 5 ppm. El muestreo se hizo cada 25 mL, hasta llegar a los 100 mL circulados, y luego cada 50 mL hasta finalizar. Las concentraciones medidas se representan en el siguiente gráfico:

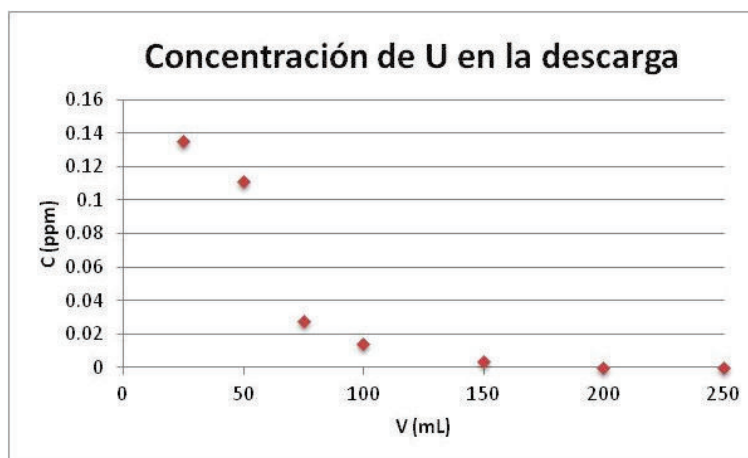


Figura 2: Curva de descarga de la columna de polvo impregnado

Como se puede ver, las concentraciones a la salida son mucho menor a lo esperado, no llegando a pasar el orden de las ppb. Rápidamente, cae a un valor menor al límite de detección del equipo de FRXT (Picofox®). La concentración medida de U en el lavado fue de 1,069 ppm, mientras que en la elución (tomando una muestra de todo el volumen circulado) de 0,111 ppm.

3. Conclusiones

Al impregnar con cantidades altas de extractante se favorece la extracción (con 233 mg de Alamine 336® por gramo de Voltalef® se logró recuperar el 91% de U de una solución 1 ppm), pero es recomendable no superar los límites estudiados dado que durante la evaporación del solvente se puede formar un aglomerado. Esto impediría la dispersión del sólido en el líquido durante la extracción o incluso su uso para el armado de una torre de extracción. Comparando todos los resultados obtenidos se puede afirmar que, la capacidad de carga no depende del método de contacto ni del tipo de solución usada (solución sintética o natural).

Los ensayos de carga en columna hechos con Voltalef® impregnado con Alamine 336® arrojaron resultados de 4.60×10^{-2} mg U/g con agua de mar real, y 4.46×10^{-2} mg U/g con agua de mar sintética. En el ensayo *batch*, la carga fue de 4.27×10^{-2} mg U/g con agua de mar real. Las variaciones entre ensayos son atribuibles al desvío estándar.

La capacidad de carga absoluta de la columna fue de 7.68×10^{-1} mgU/g en el ensayo de saturación. Esto equivale a 3.56×10^{-3} meq/mL.

El aumento en la concentración de ácido del eluyente mejora la recuperación final de U, independientemente del tipo de solución empleada en la carga. Aun así, se demostró que el HNO_3 no es un eluyente eficaz para este caso.

Aunque se trabajó con agua de mar, que es una matriz muy compleja (por su alta concentración de iones en solución), la selectividad del Alamine 336® hacia el U fue elevada.

Por lo tanto, la metodología de extracción de U mediante soporte sólido impregnado es viable para la recuperación de U de agua de mar.

Reconocimientos

A la División de Procesos Químicos e Ingeniería, y al Departamento de Química y Procesos en Instalaciones Nucleares pertenecientes a la Gerencia Química de la CNEA. Al sector de Fluorescencia de Rayos X de la CNEA por su ayuda con las mediciones y su buena predisposición.

Referencias

- [1] Rao, L., (2011). *Recent International R&D Activities in the Extraction of Uranium from Seawater*, eScholarship. Berkeley, CA.
- [2] Gupta, K. C., Singh, H., (2010). *Uranium Resource Processing. Secondary Resources*, Springer. Mumbai.
- [3] El-Sofany, E.A., (2007). *Removal of lanthanum and gadolinium from nitrate medium using Aliquat-336 impregnated onto Amberlite XAD-4*. Elsevier. Cairo.
- [4] Massart, D.L., Vandeginste, B.G.M., Buydens, L.M.C., De Jong, S., Lewi, P.J., Smeyers-Verbeke, J., (1997). *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics*, Elsevier. Amsterdam.
- [5] Indian Standards Institution (2003), *Specification for artificial sea water for laboratory use*. New Delhi.
- [6] Kinbaum, A.N., Arias, M.J., Chocrón, M., Extracción de uranio de agua de mar mediante extractante en soporte sólido, IX Congreso Argentino de Ingeniería Química (2017), AAIQ. Bahía Blanca.

Trabajo presentado en la XLIV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 21 al 25 de octubre de 2017.

CNEA ^{AL} DÍA

NOTICIAS INSTITUCIONALES

CNEA participa en un proyecto premiado sobre biomateriales

Investigadores del Centro Atómico Bariloche proveen el biovidrio con el que se elabora un novedoso material que puede ser utilizado en implantes dentales y reconstrucción maxilofacial en pacientes con cáncer.

Un grupo interdisciplinario de científicos argentinos –pertenecientes a las universidades nacionales de Buenos Aires y Cuyo, al CONICET y la CNEA- trabajan en el diseño y la síntesis de un biomaterial capaz de regenerar tejido óseo, el cual podría ser utilizado en aplicaciones odontológicas y traumatológicas.

En ensayos de laboratorio, el biomaterial demostró ser biocompatible y tener mejores propiedades que los que se utilizan actualmente como sustitutos óseos. Podría ser usado, por ejemplo, en implantes dentales y reconstrucción maxilofacial en pacientes con cáncer, así como para restaurar un defecto óseo por trauma, patologías o deformación. Incluso podrían elaborarse tornillos para reparación de huesos.

El nuevo biomaterial combina una fase orgánica y otra inorgánica. En la primera, se utiliza una parte del cordón umbilical humano que funciona como un rico reservorio de factores que estimulan la regeneración de los tejidos. En tanto, la fase inorgánica está formada por un biocerámico y un biovidrio, los cuales se fabrican en el Centro Atómico Bariloche de la CNEA.

La CNEA tiene un grupo de trabajo con una amplia experiencia en vidrios para inmovilizar residuos nucleares. Puntualmente, esta línea de investigación para producir el biovidrio tiene más de 10 años.

El biovidrio se elabora a partir de una mezcla de óxido de silicio, carbonato de calcio, carbonato de sodio y fosfato de sodio que es sometida a un tratamiento térmico en un horno eléctrico. Posteriormente, el material obtenido es triturado, molido y tamizado para obtener unas pequeñas partículas de vidrio bioactivo que poseen propiedades osteoconductoras, es decir, que favorecen el crecimiento óseo.

A partir del biovidrio, mediante su cristalización aplicando tratamientos térmicos adecuados, también se producen vitrocerámicos, que son materiales parcialmente vítreos y parcialmente cristalinos con propiedades similares a las de los biovidrios.

Los próximos pasos del proyecto incluyen la tramitación de la aprobación por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología (ANMAT) para confirmar la seguridad y eficacia del biomaterial en nuevos ensayos clínicos. A futuro se aspira a realizar una transferencia tecnológica que permita llevar desarrollo al ámbito médico. Este biomaterial para la regeneración ósea fue galardonado en 2017 con el primer premio "Fundación René Barón" de la Academia Nacional de Odontología.

CNEA presente en la World Nuclear Exhibition 2018

Entre el 26 y el 28 de junio, la CNEA, junto a INVAP, CONUAR/FAE, Nuclearis, AESA y la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA) participaron de la Tercera Edición de la World Nuclear Exhibition (WNE), desarrollada en París, Francia.

La feria, impulsada por la Industria Nuclear Francesa (AIFEN), congrega a las mayores compañías internacionales de tecnología nuclear con fines pacíficos, y se ha establecido como un marco de encuentro e intercambios entre representantes de países y compañías internacionales, expositores y visitantes de más de 60 países.

Desde su primera edición en 2014, se ha transformado en una oportunidad de trascendencia y visibilidad para proyectos nucleares, además de consolidarse como un espacio de debate al ofrecer mesas redondas, seminarios de negocios y paneles de discusión de alto nivel.

En esta edición, el evento fue formalmente inaugurado por el Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica y el Ministro de Economía y Finanzas de la República Francesa. El Pabellón Nacional montado en la WNE 2018 permitió a la delegación argentina promocionar los principales proyectos nucleares del país, entre ellos el CAREM y el Reactor Multipropósito RA-10, y establecer contacto con representantes de la industria nuclear de todo el mundo interesados con estos desarrollos.

El tomógrafo AR-PET desarrollado por la CNEA ya está en el Hospital de Clínicas

Un grupo de especialistas del Centro Atómico Ezeiza de la CNEA desarrolló el prototipo de un tomógrafo PET desarrollado y fabricado íntegramente en el país.

Tras una semana de intenso trabajo, especialistas del Grupo de Sistemas Digitales y Robótica del Centro Atómico Ezeiza concluyeron el armado del primer tomógrafo AR-PET en su lugar de funcionamiento.

El equipo —que se utilizará en el diagnóstico de enfermedades oncológicas y cardiológicas— funcionará en un espacio especialmente acondicionado dentro del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital de Clínicas José de San Martín, perteneciente a la Universidad de Buenos Aires.

El próximo paso será gestionar ante la Autoridad Regulatoria Nuclear la autorización para trabajar con radiofármacos y, posteriormente, comenzará una etapa de caracterización del equipo desde el punto de vista funcional que permitirá homologarlo para su utilización en pacientes.

El Tomógrafo AR-PET de diseño y fabricación 100% nacional permitirá obtener imágenes anatómicas y funcionales del cuerpo humano de forma no invasiva, brindando un diagnóstico preciso de ciertas enfermedades como el cáncer, problemas cardíacos y trastornos cerebrales.

El equipo desarrollado por la CNEA puede, además, operar con dos de sus seis componentes principales, lo que facilita que el equipo sea reparado sin interrupciones en la prestación de sus servicios.

Esto es posible gracias a que sus cabezales (los responsables de la toma de imágenes) son de giro continuo. Para esto, cada fotomultiplicador del equipo tiene su propia computadora dedicada al procesamiento de datos. Estos cabezales fueron contruidos con cristales centelladores dispuestos en forma hexagonal, lo que permite obtener un campo de visión amplio y facilita que se puedan sacar, reparar y reponer sin que el escáner salga de servicio.

Trabajo en equipo

El proyecto fue llevado a cabo por el Grupo de Sistemas Digitales y Robótica de la CNEA, en colaboración con el Grupo de Inteligencia Artificial y Robótica de la Universidad Tecnológica Nacional, y fue financiado con recursos del tesoro nacional. Inicialmente, contó con el aporte del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Actualmente sólo tres empresas en el mundo se dedican a comercializar este tipo de instrumentos, que tienen un valor de mercado superior al millón de dólares por unidad. Con este nuevo tomógrafo no sólo se reducirán los gastos de adquisición de estos equipos, sino que también se mejorará el acceso a tecnología de última generación en el ámbito de la salud pública.

La CNEA presentó su Repositorio Digital para publicaciones científicas

Con la plataforma “Nuclea” la CNEA pone a disposición de la comunidad científica y el público en general la producción de conocimiento que realizan sus investigadores y se suma al Sistema Nacional de Repositorios Digitales donde participan las principales entidades científicas del país.

Estudiantes, becarios, docentes e investigadores de las distintas ramas de la ciencia que se desempeñan en la CNEA cuentan a partir de ahora con una nueva herramienta para visibilizar sus trabajos. La [plataforma "Nuclea"](#) tiene como fin reunir, identificar, registrar, preservar y difundir los resultados de la producción científica, académica y el patrimonio cultural y audiovisual de la Institución, buscando también propiciar la transferencia de conocimiento y a su vez garantizar a la comunidad el acceso a la información de carácter público.

Su presentación se llevó a cabo en el Centro Atómico Constituyentes. La plataforma Nuclea generará un cambio cultural en la forma en que circula el conocimiento. Los próximos pasos para Nuclea tendrán que ver con su incorporación a los sistemas CRIS (Sistema de Información sobre Investigaciones Actuales, por su sigla en inglés), que facilitarán a los investigadores tener publicados sus trabajos en diversos repositorios a nivel mundial.

Es un beneficio para los investigadores, porque valida los resultados de sus trabajos, a la vez que permite el acceso a resultados presentados en publicaciones previas y amplía la difusión en buscadores especializados; pero también es positivo para la institución porque brinda información sobre la producción intelectual en tiempo real, permitiendo mejorar la gestión de los recursos, aumentando la colaboración entre grupos diversos y relevando temáticas emergentes.

Esta iniciativa se inscribe en una iniciativa internacional sobre acceso libre y gratuito a las investigaciones realizadas con fondos públicos.

La doctora Amanda Schwint premiada por su labor en el proyecto BNCT

En el marco del 18° Congreso Internacional para la Terapia por Captura de Neutrones (ICNCT-18) —que tuvo lugar en Taipéi, Taiwán, entre el 28 de octubre y el 2 de noviembre— se entregó el Hatanaka Award a la científica argentina Amanda Schwint, el máximo galardón que cada dos años otorga la Sociedad Internacional para la Terapia por Captura de Neutrones (ISNCT, por sus siglas en inglés).

Esta es la primera vez que una mujer recibe el Hatanaka Award. Desde la ISNCT aseguraron que la doctora Schwint es merecedora de este galardón internacional por ser “una científica muy destacada en la comunidad internacional del BNCT”, así como “también por su amabilidad, generosidad, entusiasmo y la forma en que alienta a todos los investigadores más jóvenes. Además, ha contribuido significativamente con la ISNCT”.

La doctora Schwint se desempeña actualmente como Jefa de la División Patología de la Radiación del Departamento de Radiobiología de la CNEA y, desde el año 1998, trabaja en el proyecto Terapia por Captura Neutrónica en Boro, más conocido como BNCT, un tratamiento en fase de investigación con el que se podría tratar melanoma, cáncer de cabeza y cuello, cerebro, metástasis en hígado y pulmón, como así también otros agresivos tumores que no responden a las terapias tradicionales.

Sobre el BNCT

El BNCT es una terapia médica que basa su acción en dos elementos básicos: los neutrones, que se pueden obtener de un reactor nuclear de investigación o en un acelerador; y el boro, un elemento no radiactivo que se encuentra en la naturaleza y que es capaz de depositar una dosis de radiación altamente localizada en células tumorales sin afectar el tejido sano.

El procedimiento consiste en inyectar compuestos de boro 10 en el paciente, el cual se combina con un aminoácido para que este se acumule selectivamente en las células tumorales. Luego se expone al paciente a una dosis de radiación altamente localizada que produce un daño selectivo en el tumor.

Para probar la efectividad y seguridad del BNCT, la CNEA trabaja en forma multidisciplinaria en el desarrollo de la tecnología, las instalaciones y los estudios científicos y médicos para la investigación clínica en pacientes oncológicos.

Respecto a su trabajo en el área de la radiobiología, la doctora Schwint explicó que “se realizan experimentos en modelos animales para tratar de entender cuáles son las mejores estrategias y comprender las respuestas de los distintos tumores y de los tejidos normales frente a esas estrategias. Para ello, diseñamos y testeamos distintos protocolos de tratamiento con el objetivo de mejorar la respuesta tumoral y disminuir los efectos adversos asociados”.

Además, agregó que, cuando esta terapia no se utilizaba aún en el tratamiento de cáncer de cabeza y cuello, nosotros comenzamos las investigaciones en esa área, con lo cual “nuestros trabajos fueron precursores de los primeros ensayos clínicos que se hicieron en Japón y en Finlandia para estos tumores. Posteriormente, fuimos trabajando en distintos modelos experimentales para evaluar la efectividad en metástasis hepática, artritis reumatoidea, cáncer oral y metástasis en pulmón. Y todo esto lo hemos podido hacer gracias a la colaboración de diferentes grupos de la CNEA, al apoyo de las autoridades del organismo y al fácil acceso a los reactores de investigación, que son nuestra fuente de neutrones, una facilidad que no poseen todos los grupos que realizan investigaciones en BNCT en el mundo”.

Reconocimiento internacional

El Hatanaka Award busca premiar a investigadores que hayan realizado una contribución importante y reconocida internacionalmente al desarrollo de la investigación en uno o más campos científicos relacionados con el BNCT.

Este reconocimiento lleva el nombre del Doctor Hiroshi Hatanaka, un neurocirujano japonés conocido mundialmente por ser el principal impulsor del desarrollo de la Terapia por Captura Neutrónica en Boro. “Me emociona mucho haber recibido este premio, que es en realidad un premio al trabajo en equipo. CNEA es una institución de excelencia profesional, que te da todo el apoyo profesional y técnico, pero también de contención afectiva y familiar que defiende sus proyectos y a su gente. Es un privilegio trabajar acá, en una institución que tiene un rol protagónico en el plano internacional”, aseguró con gran emoción la doctora Schwint.

El OIEA designa a la CNEA como “Centro Colaborativo” en América Latina

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) le otorgó a la CNEA el reconocimiento como "Centro Colaborativo OIEA", estableciéndose un plan de trabajo conjunto para los próximos 4 años.

El acto fue celebrado en la ciudad de Viena, Austria, y fue encabezado por los Directores Generales Adjuntos de Ciencias y Aplicaciones Nucleares y de Cooperación Técnica del OIEA y del que participaron autoridades de la Subsecretaría de Energía Nuclear y de la CNEA, juntamente con funcionarios de la Representación Diplomática Argentina en Austria.

Los Centros Colaborativos son considerados herramientas de enorme valor para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas en cuanto a la promoción del uso pacífico de técnicas nucleares a nivel internacional, a la vez que ayudan al OIEA a implementar sus actividades programáticas en las áreas de investigación, desarrollo y entrenamiento. Adicionalmente, y como mecanismo cooperativo, son instrumentos eficientes que permiten compartir recursos, conocimiento y experiencia entre los diferentes actores del sector nuclear a nivel global.

A partir del Acuerdo celebrado con la CNEA, se brindará desde Argentina asistencia a otros países de la región y el mundo, específicamente en las áreas de nucleoelectricidad, ciclo de combustible, ciencias nucleares, técnicas nucleares para el desarrollo y protección ambiental.

Cabe destacar que la firma del Acuerdo se transforma en un nuevo hito en la cooperación bilateral entre la República Argentina y el OIEA, asumiendo nuestro país a través de la CNEA y de sus institutos de formación, el compromiso de brindar asistencia al Programa de Actividades del OIEA, contribuyendo así a la promoción de los usos pacíficos de la energía nuclear.

El Acuerdo alcanzado valora y destaca la histórica política institucional de la CNEA de formación, entrenamiento y capacitación de recursos humanos –tanto nacionales como extranjeros– que conllevó a la creación de los Institutos Balseiro, Sabato y Beninson, entidades de renombre internacional a través de las cuales la CNEA ejecutará las actividades comprendidas en el marco del programa de trabajo del Centro Colaborativo.

La CNEA participa en el Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos

La Dirección de Eficiencia Energética en Edificaciones y Sector Público de la Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética del Ministerio de Hacienda convocó a la Jornada de Eficiencia Energética en Edificios Públicos, donde se presentó el Programa Nacional de Eficiencia Energética en Edificios Públicos y la herramienta informática DEP - Diagnóstico Energético Preliminar. La jornada se llevó a cabo los días 6 y 7 de noviembre en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a la misma fue convocado el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS) de la CNEA.

Junto con el lanzamiento del Programa, la Jornada tuvo también como objetivo generar un espacio de intercambio de experiencias nacionales e internacionales en la temática, para lograr introducir a los gestores gubernamentales, decisores políticos y a todos aquellos interesados, a la reflexión y al debate para lograr la implementación de más y mejores prácticas asociadas al uso racional y eficiente de la energía en los edificios públicos.

En ese marco, el IEDS participó en el panel de Experiencias Nacionales, junto con la Secretaría de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (Polo científico y tecnológico) y el Instituto Nacional del Agua (INA), en el que se mostraron diferentes iniciativas y el grado de avance de las mismas.

El Decreto N° 140/2007 definió el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y lo declaró de interés y prioridad nacional. Entre sus considerandos menciona que “es el sector público el que debe tomar la iniciativa y dar el ejemplo a la sociedad y al sector privado”. En cuanto a la Administración Pública en particular, el Decreto N° 134/2015 establece en su artículo tercero: “Instrúyase a todos los organismos de la Administración Pública Nacional, incluyendo a los Organismos Descentralizados a coordinar con el Ministerio de Energía y Minería un programa de racionalización del consumo en los respectivos organismos u otras medidas que se requieran en sus respectivos ámbitos de competencia”.

Dada la importancia de la temática, la CNEA inició a través del IEDS en el año 2013 un programa de capacitación y difusión para la eficiencia energética en edificios públicos. Actualmente también desarrolla proyectos en investigación y desarrollo en el estudio de los fundamentos de la eficiencia energética y el uso racional de la energía para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Científicos de la CNEA y el Instituto Roffo fueron reconocidos por el Senado de la Nación

La Honorable Cámara de Senadores de la Nación declaró de interés la investigación con microesferas de vidrio para tratar tumores hepáticos que se realiza en los Centros Atómicos Bariloche y Ezeiza, junto con el Instituto de Oncología Ángel H. Roffo.

Científicos de los Centros Atómicos Bariloche y Ezeiza de la CNEA y del Centro Oncológico de Medicina Nuclear del Instituto Ángel H. Roffo (UBA-CNEA), fueron reconocidos por el Honorable Senado de la Nación por sus investigaciones para desarrollar una terapia con microesferas de vidrio para tratar tumores de hígado.

Este tratamiento –que aún está en fase de investigación– está actualmente indicado en algunos casos de hepatocarcinoma (por ejemplo, tumores localizados en el hígado que por su estado avanzado ya no pueden ser operados) y en ciertas metástasis localizadas en el hígado (metástasis de cáncer de colon). Actualmente, se están evaluando además nuevas indicaciones, como las metástasis de tumores neuroendócrinos y de cáncer de mama, entre otras.

Pequeñas pero poderosas

Las microesferas de vidrio desarrolladas por los científicos argentinos miden entre 0,025 y 0,05 milímetros, y están “cargadas” con un material radiactivo que tiene un alcance limitado a 11mm. Para actuar en el sitio de interés, las microesferas son dirigidas a través de una microcánula (catéter) que avanza por los vasos sanguíneos hasta llegar a la arteria que nutre al tumor. Una vez allí, son liberadas y, debido a su pequeño tamaño, quedan atrapadas dentro del tumor. Su radiación destruye el tejido maligno durante 20 días, en un radio no mayor a 11 mm, preservando los tejidos sanos circundantes.

Estas microesferas son elaboradas íntegramente en el Centro Atómico Bariloche. Primero se prepara un vidrio a 1600 grados centígrados que contiene en su composición un elemento llamado itrio 89 (89Y). Luego se obtiene un granulado muy fino que al pasar por una llama forma las microesferas que se necesitan. Estas microesferas fueron ampliamente caracterizadas en los laboratorios de ese Centro.

Durante los últimos años, los investigadores de la CNEA han trabajado en la creación, producción y caracterización de las microesferas en el laboratorio y actualmente, se encuentran en la etapa de prueba de las microesferas no radiactivas. “Entre otras pruebas, se mide su tamaño y se comprueba que cuando se colocan en plasma sanguíneo su disolución es prácticamente nula lo que asegura que no liberará el itrio al torrente sanguíneo.

Pero para poder utilizar las microesferas en el tratamiento de los tumores hepáticos, previamente se deben colocar dentro de un reactor nuclear de investigación, donde el itrio 89 (89Y) absorbe un neutrón y se convierte en itrio 90 (90Y), con lo cual estas pequeñas esferas se vuelven radiactivas.

Durante 21 días las microesferas se mantendrán radiactivas hasta agotarse una vez que la dosis radiactiva ha sido entregada, las microesferas de vidrio permanecen dentro del organismo encapsuladas en el hígado por un tejido cicatrizal que no tiene consecuencias para el paciente.

Trabajo en equipo

Este proyecto –que comenzó en el año 2005– actualmente se nutre de la participación de investigadores del Centro Atómico Bariloche, donde se producen las microesferas; del Centro Atómico Ezeiza, donde se comenzaron los trabajos de activación; y del Centro Oncológico de Medicina Nuclear del Instituto Ángel H. Roffo. En este Centro las investigaciones apuntan a demostrar que las microesferas fabricadas en nuestro país pueden ser útiles en humanos. Es decir, se estudia la biocompatibilidad, la factibilidad de su inyección a través de un catéter y se observan los efectos en células tumorales y en animales de laboratorio portadores de tumores. En esta última etapa también participan investigadores de la Facultad de Farmacia de la UBA.

Tras superar esta fase de pruebas, se solicitará autorización por parte de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) y de la Autoridad Regulatoria Nuclear para el uso de las microesferas en pacientes.

Desarrollo nacional, valor agregado

Hasta ahora las microesferas para uso terapéutico son producidas sólo en Australia y Canadá, y su costo es muy elevado. Poder fabricarlas en nuestro país generaría independencia de un suministro que a futuro podría ser muy demandado por la Medicina Nuclear y a un bajo costo (comprarlas en el exterior podría valer aproximadamente quince mil dólares la dosis). A largo plazo, Argentina también podría apostar a fabricarlas para exportación, generando importantes ingresos para el país gracias a una tecnología de alto valor agregado.

MUTUAL CNEA

FONDO COMPENSADOR DE LA ACTIVIDAD NUCLEAR



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



38 años

1980 - 2018

**14 DELEGACIONES EN
TODO EL PAÍS**

1958 ASOCIADOS

COMPLEMENTOS
Jubilatorios 620
Pensionarios 467

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

BENEFICIOS PARA LOS ASOCIADOS

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

**MUTUAL DEL PERSONAL DE
LA COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**

Administración Central

Tel/Fax: 011-4701-0355 / 5059

11 de septiembre N° 4366/68

C1429BJF –C. A. de Buenos Aires

Info @ mutualcnea.org.ar

<https://mutualcnea.org.ar>

**EMPRESAS Y FUNDACIONES DEL SECTOR NUCLEAR ARGENTINO
ASOCIADAS O VINCULADAS CON LA CNEA B1802AYA) Ezeiza**

COMBUSTIBLES NUCLEARES ARGENTINOS S.A. (CONUAR)

CONUAR fue creada por Decreto N° 1719/81. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde el 33,33% a la CNEA y el 66,67% restante a la empresa privada SUDACIA S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene como objetivo producir, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, elementos combustibles para el abastecimiento de las centrales nucleoelectricas y de los reactores de investigación argentinos. Su dirección es Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1300 - Fax: (54 – 11) 6326-1490 -

DIOXITEK S. A.

DIOXITEK fue creada en 1996 por Decreto N° 1286/96. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde en un 99% a la CNEA y el 1% restante a la provincia de Mendoza. Su objetivo inicial fue garantizar el suministro del dióxido de uranio que se utiliza en la fabricación de los elementos combustibles para las centrales nucleares de potencia. En 2002 incorporó a su actividad la producción y comercialización de fuentes selladas de cobalto 60 para uso medicinal e industrial. Su planta de producción de dióxido de uranio se encuentra en la ciudad de Córdoba y la planta industrial de elaboración de fuentes selladas de cobalto 60 en el Centro Atómico de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Su dirección es Avenida del Libertador 8.250 (B1429BNP) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Teléfono: (54 – 11) 4704 - 1035/1236 - Fax: (54 – 11) 4704 - 1043 - www.dioxitek.com.ar

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

ENSI fue constituida el 21 de diciembre de 1989 entre el Gobierno del Neuquén y la CNEA. Es una sociedad del estado neuquino cuyo capital accionario corresponde en un 51% a dicho estado y un 49% a la CNEA y su sede se encuentra en la localidad de Arroyito de la citada provincia. Su objetivo principal es operar plantas químicas a escala piloto e industrial y elaborar y comercializar productos químicos. Por contrato con la CNEA se hizo cargo de la operación de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) situada en la citada localidad de Arroyito. ENSI, además, presta servicios de ingeniería a empresas dedicadas a la producción de petróleo, gas y energía eléctrica que operan en la región. Su dirección es Ruta Nacional 237 km. 1278 Arroyito, Neuquén - Casilla de Correo 636 (8300) Neuquén Arroyito - Pcia. del Neuquén - Teléfono: (54 – 299) 440706/440411/440572 - Fax: (54 – 299) 440534 – E-mail: piap@ensi.com.ar - www.ensi.com.ar

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 – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1493 - Fax: (54 – 11) 6326-1496 - www.fae.com.ar

INVAP S. E.

INVAP fue creada por Decreto del Gobierno de Río Negro N° 661/76. Es una empresa de tecnología cuyo capital accionario corresponde en un 100% al estado rionegrino, estando vinculada a la CNEA mediante un acuerdo con la referida provincia. Su sede se encuentra en San Carlos de Bariloche. Su objetivo estatutario original es servir al desarrollo nuclear argentino, aunque más tarde ha extendido sus actividades a otros campos tecnológicos como el aerospacial. Se dedica principalmente al desarrollo y construcción de reactores de investigación e instalaciones nucleares de todo tipo, así como también de sistemas de aplicación médica y científica y al desarrollo y fabricación de satélites y radares. Su dirección es Avda. Cmte. Luis Piedrabuena 4950 - (R8403CPV) San Carlos de Bariloche – Pcia. de Río Negro – Teléfono: (54 – 2944) 4409 300 - Fax: (54 – 2944) 4409 336 - www.invap.com.ar

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A (NA-SA)

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

POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES S.A. (PTC)

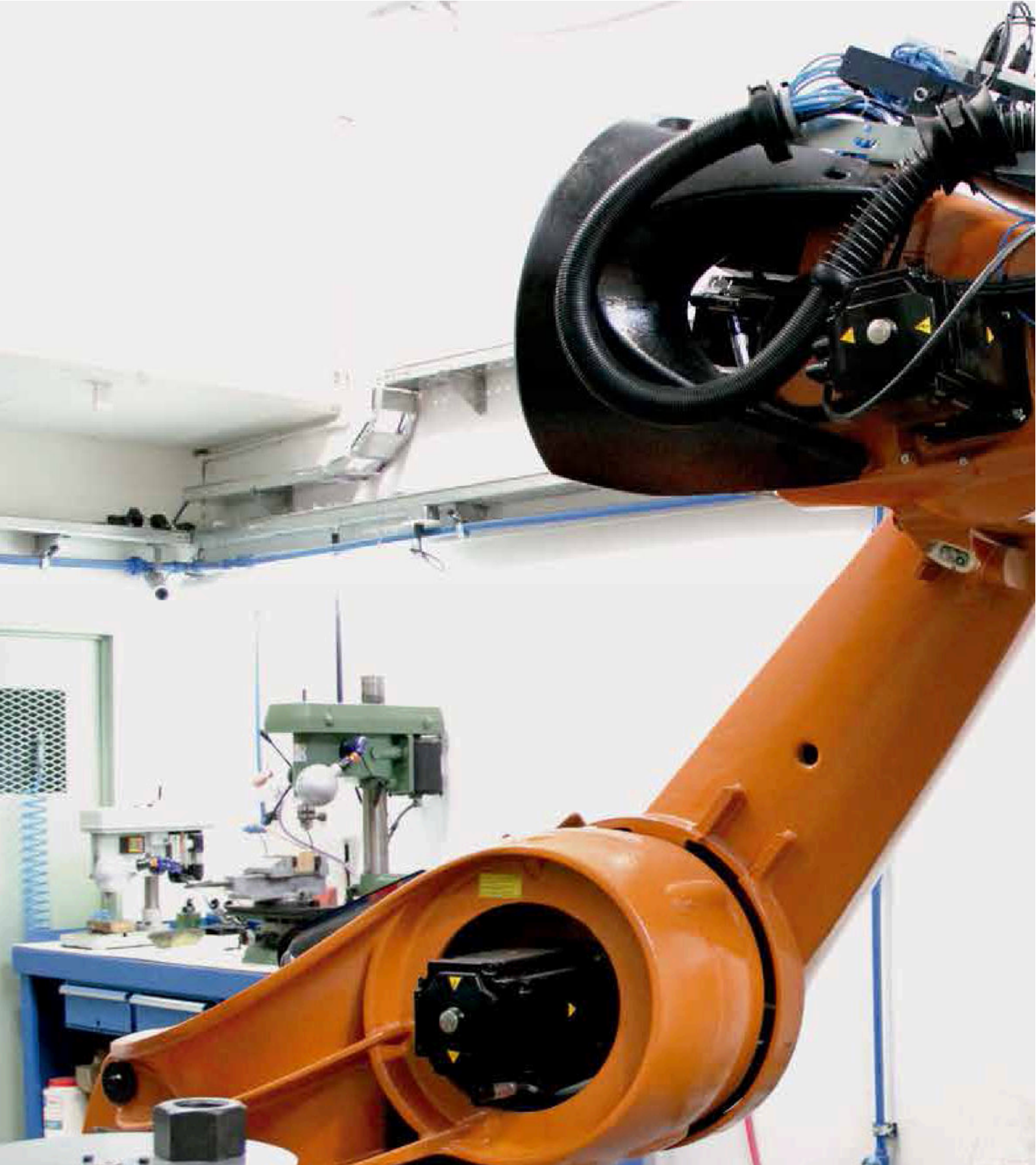
El PTC fue creado por Decreto N° 894/98 y está constituido por la asociación de instituciones de desarrollo tecnológico con capacidades distintas y complementarias. La CNEA es poseedora del 20% del capital accionario. El PTC tiene por objeto prestar servicios en las áreas de la investigación y el desarrollo tecnológico cuando ellos requieran complementar las capacidades de sus integrantes. Su dirección es Parque Tecnológico Miguelete – Edificio 1 - Avda. General Paz (entre Constituyentes y Albarellos) (1650) San Martín - Pcia. de Buenos Aires - Teléfono / fax: (54 –11) 754 – 4070 – www.cnea.edu.ar/polo

FUNDACIÓN CENTRO DE DIAGNÓSTICO NUCLEAR (FCDN)

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

FUNDACIÓN ESCUELA DE MEDICINA NUCLEAR (FUESMEN)

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



Comisión Nacional
de Energía Atómica