



SISTEMA NUCLEAR



PIUBAD
PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO
DE LA UBA SOBRE DESARROLLO

.UBAfiuba 
FACULTAD DE INGENIERÍA

 **.UBA INVESTIGACIÓN**
Secretaría de Ciencia y Técnica

Con el apoyo de:


**NUCLEOELÉCTRICA
ARGENTINA S.A.**


**Comisión Nacional
de Energía Atómica**





Introducción

Sobre el Proyecto Vectores

El Proyecto Vectores es una iniciativa interdisciplinaria surgida a partir de la cooperación de miembros de diversas unidades académicas de la UBA en torno al Programa Interdisciplinario de la UBA sobre Desarrollo, PIUBAD. Asimismo, resultan especialmente destacables en el desarrollo del vector Sistema Nuclear, los aportes de la Facultad de Ingeniería, la cual facilitó la participación de muy valiosos/as miembros de su comunidad.

El objetivo del Proyecto Vectores es generar propuestas integradas de políticas públicas para el desarrollo de Argentina, que contribuyan a la transformación virtuosa de su estructura productiva -con especial atención a la mejora en las condiciones de cuidado del ambiente-, económica y social. Para ello, ordena su agenda de trabajo en torno una serie de 12 temáticas estratégicas, denominadas vectores para señalar el objetivo de que puedan aportar dirección y sentido, además de magnitud, a dicha agenda. A continuación se presenta el listado completo de vectores que integran el Proyecto¹, resaltando el correspondiente a la presente publicación:

1. Sistema Agroalimentario
2. Bioproductos
3. Desarrollo Sustentable
4. Integración de Barrios Populares
5. Industria Aeroespacial / Aplicaciones Satelitales
6. Industria Naval / Sistema Fluvial y Marítimo
- 7. Sistema Nuclear**
8. Economía Popular, Social y Solidaria
9. Movilidad Eléctrica
10. Petróleo y Gas
11. Sistema Ferroviario
12. Tecnologías de la Información y la Comunicación

¹Es importante señalar que, para el mejor cumplimiento de los objetivos del Proyecto, la definición de vectores y de sus líneas de trabajo no tiene un carácter rígido, sino flexible y evolutivo. El listado que se presenta aquí corresponde a la estructura vigente al momento de la emisión del presente documento.



Sobre la presente publicación

A través de esta publicación se busca lograr dos objetivos fundamentales para el fortalecimiento del vector Sistema Nuclear:

- a.** Realizar, por primera vez, una breve caracterización conceptual del vector así como de las diferentes líneas de trabajo que lo integran
- b.** Realizar, por primera vez, una reseña completa de lo realizado hasta el momento

Es de destacar, asimismo, que las citadas caracterizaciones y reseñas, además de constituirse como un valioso activo para el Proyecto, resultan también significativas en cuanto su elaboración y validación en conjunto por parte del equipo interdisciplinario que compone al vector favoreció su consolidación y fortalecimiento, al promover la construcción de lenguajes comunes, la búsqueda de consensos, así como la generación de nuevo conocimiento. Por último, la presente publicación resulta valiosa por su aptitud para presentar en forma compacta y resumida información básica sobre el vector, lo cual facilita y permite potenciar la interacción con otros grupos que desarrollan actividades de interés para el sistema nuclear argentino, así como con organismos públicos encargados del diseño e implementación de políticas públicas relacionadas con éste.





Sistema Nuclear

Energía Nuclear

Irigaray, Martín²; Vázquez, Emanuel³; Rattel, Pablo⁴

Inicio y consolidación del Sistema Nuclear argentino

En el año 1950, a través del [Decreto N° 10.936/1950](#) se estableció la creación de la *Comisión Nacional de Energía Atómica*, CNEA, en dependencia directa de la Presidencia de la Nación. Con esta decisión, se dio inicio a una política de Estado que persiste hasta nuestros días y que, ha permitido a la República Argentina integrar tempranamente el selecto grupo de naciones que desarrollan tecnología nuclear y ser pionero en Latinoamérica en la generación de energía eléctrica a partir de la fisión nuclear.

En el año 1968 comienza la construcción de la primera central nuclear del continente (Central Nuclear Atucha I), en las afueras de la localidad de Lima (Pcia. de Buenos Aires). La empresa alemana Siemens – KWU (*KraftWekenUnion*) estuvo a cargo del diseño y construcción de una Central que originalmente proveía una potencia de 340 Mwe, operando con agua pesada y uranio natural. En 1974 la Central se conecta al Sistema Eléctrico Nacional y comienza a generar y suministrar energía eléctrica a la matriz energética del país. Posteriormente, en el año 1995, se modificó el combustible con uranio ligeramente enriquecido (0.85%) permitiendo aumentar la potencia a 364MWe.

En simultáneo, en el año 1974, comienza la construcción de la Central Nuclear de Embalse (CNE) en la provincia de Córdoba, de tecnología CANDU (*Canada Deuterium Uranium*) que emplea agua pesada como refrigerante principal del reactor y uranio natural como combustible. La misma finaliza su construcción y se conecta a la red en el año 1983 aportando, originalmente, a la red eléctrica del país 640 MWe. Luego de 30 años de operación se le realizó un reacondicionamiento que consistió principalmente

en el reemplazo de críticos del reactor y de la central, como por ejemplo los tubos de presión, tubos de calandria y, los generadores de vapor, permitiendo extender el tiempo de vida de operación segura de la central por otros 30 años y aumentando su potencia eléctrica a 656MWe. Cabe destacar que toda la etapa de extensión de vida, se ha realizado con el know how adquirido en el país, lo que permitió posicionar a Nucleoeléctrica Argentina como proveedora de servicios en el exterior.

En el año 1998 y mediante el [Decreto 1390/98](#) se reglamenta la [Ley N° 24.804](#) estableciendo que en materia nuclear el Estado Nacional fijará la política y ejercerá las funciones de investigación y desarrollo a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la de regulación y fiscalización, con jurisdicción nacional, a través de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) fijando competencias funciones y regímenes jurídicos entre las instituciones, y constituyen el marco legislativo nacional necesario para reglamentar el uso de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos con fines pacíficos, así como de la tecnología conexas.

En el marco del *Plan de Reactivación Nuclear* formalizado bajo la [Ley N° 26.566](#) sancionada por el Congreso de la Nación en el año 2009, y luego de tres décadas de demoras, en el año 2012 se finaliza la construcción de la tercera central nuclear en el país (Central Nuclear Atucha II) conectándose a la red eléctrica nacional en el año 2014.

Además de la extensión de vida de la Central Nuclear Embalse y la construcción, puesta en marcha y operación de Central Nuclear Atucha II, otros objetivos han sido contemplados en el *Plan de Reactivación Nuclear*, como por ejemplo promover

²Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA.

³Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería.

⁴Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Departamento de Tecnología Industrial. Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima, NASA.



los siguientes proyectos: Diseño, construcción y ejecución de un reactor modular de baja potencia (CAREM, cuya construcción comenzó en febrero del 2014) y adquisición de una cuarta central nuclear de dos módulos.

Actualidad nacional

Luego de una amplia experiencia con más de 70 años de historia nuclear y con tres centrales de potencia nucleares, operando con seguridad y confiabilidad, la potencia instalada de energía eléctrica de origen nucleoelectrica representa el 4,3% de la potencia nacional instalada del *Sistema Argentino de Interconexión (SADI)* y con una participación en energía del 7,4% en el año 2021. Hoy en día se tienen 1763 MW de potencia nucleoelectrica instalada pertenecientes a una matriz de 41598⁵ MW totales a octubre de 2020.

El porcentaje más grande de la potencia eléctrica instalada, cerca del 60%, corresponden a equipos que utilizan algún tipo de combustible fósil como carbón, *fuel-oil*, *gas-oil* o gas natural siendo este último el hidrocarburo más utilizado para la generación eléctrica nacional.

Seguido, tenemos la potencia eléctrica de origen hidroeléctrica y pequeños aprovechamientos hidráulicos con un 27% de aporte a la capacidad instalada.

Por último, la potencia instalada nacional se completa con menos de un 8% de energías renovables conformado por la generación eólica, solar fotovoltaica y biomasa.

Al tener una matriz energética con una fuerte dependencia de combustibles fósiles, la alternativa nuclear favorece a diversificar la matriz energética aumentando la potencia instalada en las fuentes de energía con baja emisión de gases de efecto invernadero, sin dejar de mencionar el desarrollo industrial y tecnológico que conlleva.

Desafíos hacia el futuro

Argentina es un país con una alta dependencia de los recursos fósiles para la generación eléctrica, en un contexto en el que la transición energética,

la disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero y la descarbonización de la matriz energética se han posicionado como temas centrales en la agenda pública nacional e internacional; así, cobra aún más fuerza en el ámbito nacional la discusión de alternativas en torno a los proyectos de generación eléctrica de origen nuclear como la construcción de la próxima central nuclear y el desarrollo del CAREM⁶ (Central Argentina de Elementos Modulares). Este último es el primer reactor nuclear de potencia íntegramente diseñado y construido en Argentina perteneciente al segmento de reactores modulares de baja y media potencia (*SMR* por sus siglas en inglés). Es un reactor innovador en su diseño donde los sistemas de seguridad están basados en un principio de funcionamiento pasivo (no necesitan energía o la intervención del operador para su funcionamiento), considerando los criterios de seguridad nuclear como redundancia, independencia, separación física, diversidad, falla segura entre otros como las lecciones aprendidas post-Fukushima Daiichi.

Sin duda, los próximos años del desarrollo nuclear pacífico del país están respaldados en las capacidades científicas, tecnológicas e industriales acumuladas desde 1950. Este crecimiento constante favorece a la consolidación de una cadena de suministros, donde los proveedores, socios y clientes aportan a la formación de capital humano altamente calificado.

En la actualidad, la generación nucleoelectrica se presenta como una de las alternativas más seguras y conocidas para la producción de electricidad con bajas emisiones de gases de efecto invernadero que pueden, junto con las energías renovables, contribuir a disminuir la incidencia de los hidrocarburos como fuente de generación de energía eléctrica. En ese contexto, nuestro país está intentando convertirse en líder en el desarrollo de reactores modulares pequeños. Estos son sumamente prometedores para incorporarlos en la matriz eléctrica junto con los grandes reactores y las energías renovables como solar y eólica. El desarrollo y consolidación de los SMR será muy importante en los próximos años debido a su versatilidad y posibilidad de construcción modular y fabricación a escala, además de ser tecnología de exportación de alto valor agregado.



⁵ Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina; Año XX N° 238

⁶ <https://www.argentina.gob.ar/ceaa/carem>



Industria y Tecnología Nuclear

Irigaray, Martín⁷; Vázquez, Emanuel⁸; Rattel, Pablo⁹

La tecnología nuclear se encuentra presente, directa o indirectamente, en múltiples ámbitos de nuestra vida. Uno de los más notables es en la producción de energía eléctrica, tema ya tratado en este volumen, pero también en diversas aplicaciones que mejoran la vida humana. En el marco de esta línea de trabajo nos focalizamos en tres espectros de aplicación en particular: ‘aplicaciones en alimentos’, ‘aplicaciones industriales’ y ‘medicina nuclear’, e incorporando adicionalmente otras dos sub-líneas muy relevantes para el sector, como son las que denominamos ‘minería de uranio y combustible nuclear’ y ‘aplicaciones tecnológicas en centrales nucleares’, siendo importante la definición de dichas focalizaciones para fortalecer la conformación de redes colaborativas, así como la continuidad, coordinación y coherencia de las actividades desarrolladas.

A continuación se presenta una breve definición de los alcances de cada una de una de las mencionadas sub-líneas de trabajo.

Aplicaciones tecnológicas en centrales nucleares. La presente línea tiene por objeto emplear el conocimiento científico tecnológico en el área para ser aplicada a las distintas necesidades de centrales nucleares, reactores de investigación y cualquier otra instalación nuclear, en materia de optimización de sistemas de proceso, eficiencia energética, análisis de condiciones de operación, minimización de desgaste de componentes, entre otros.

Aplicaciones en alimentos. Entre otras, pueden mencionarse: el uso de isótopos y técnicas de radiación para combatir plagas y enfermedades, optimizar procesos productivos de cultivos, proteger la tierra y los recursos hídricos, así como, fundamentalmente, garantizar la inocuidad y autenticidad de los alimentos.

Aplicaciones industriales. Entre otras, pueden mencionarse los ensayos no destructivos por medio de *gammagrafía*, por ejemplo en las costuras de las soldaduras y la mejora y optimización de procesos productivos mediante la aplicación de radiotrazadores, entre muchas otras aplicaciones.

Medicina nuclear. La presente línea tiene por objeto llevar a cabo tareas vinculadas al proceso tecnológico que emplean compuestos radiactivos, que permiten desarrollar la tecnología y optimizar la gestión y la atención de la salud. Algunos ejemplos de este tipo de tecnologías son: las asociadas a diferentes tipos de radiodiagnósticos; los tratamientos mediante radioterapia y los radiofármacos¹¹.

Minería de uranio y combustible nuclear. La presente línea tiene por fin, llevar a cabo estudios y análisis que permitan optimizar y/o hacer modificaciones de diseño sobre aspectos característicos del ciclo del combustible, entiendo por ello las distintas fases del proceso que comprenden desde la extracción del mineral de uranio para la fabricación del combustible, fabricación de vainas y elementos combustibles, hasta la gestión de material de residuos radioactivos generados.

Pasado, presente y futuro de este segmento industrial-tecnológico en Argentina

Como antecedente del desarrollo de la industria nuclear nacional existen un conjunto de empresas tecnológicas e industriales argentinas que aseguren una importante cuota de autonomía en la cadena de suministros del sistema nuclear argentino. Algunas de estas son: Comisión Nacional de Energía Atómica (1950), INVAP (1976), CONUAR (1981), Fabricaciones de aleaciones especiales-FAE (1986, fusionada con

⁷Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA.

⁸Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería.

⁹Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Departamento de Tecnología Industrial. Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima, NASA.

¹⁰Asimismo y en particular, en el contexto de la pandemia de Covid-19, en sector nuclear argentino realizó contribuciones significativas, en materia de soluciones tecnológicas para la esterilización de insumos y productos de uso hospitalarios, así como de desarrollo y producción de equipamiento.

¹¹A modo de ejemplo, se destaca que en el contexto de la pandemia de Covid-19 el sector nuclear argentino realizó contribuciones significativas en materia de esterilización de insumos y productos de uso hospitalarios, así como de desarrollo y producción de equipamiento.



CONUAR en abril del 2019), Empresa Neuquina de Servicios de ingeniería-ENSI (1989) que opera la Planta Industrial de Agua Pesada-PIAP (1994), Nucleoeléctrica Argentina SA (1994) y Dioxitek (1996). Además cabe mencionar la nutrida red de empresas industriales pequeñas y medianas que proveen soluciones de diverso tipo al sector nuclear argentino.

En el área de I+D, la tecnología nuclear nacional tiene como abanderada a la Comisión Nacional de Energía Atómica que tiene tres centros atómicos (Ezeiza, Constituyentes y Bariloche) con cinco reactores de investigación operativos (RA-0, RA-1, RA-3, RA-4 y RA-6). En la actualidad se ha desarrollado y se está construyendo el moderno Reactor Nuclear Argentino Multipropósito RA-10¹² en el Centro Atómico Ezeiza que permitirá aumentar la producción de radioisótopos para la detección y tratamientos de múltiples patologías, contando con capacidad para atender buena parte de la demanda de América Latina.

Desde aquel 31 de mayo de 1950 en que se creara la CNEA hasta nuestros días, se ha logrado un desarrollo nacional en cada dimensión donde la tecnología nuclear con fines pacíficos participa; sorteando los vaivenes de la economía y dando una continuidad ininterrumpida durante más de setenta años. Argentina es capaz de unir el área de I+D con el sector industrial en provecho de posicionarse en el mundo por ejemplo como exportador de reactores de investigación a otros países por medio de INVAP (Australia, Argelia, Egipto, Perú, Arabia Saudita y Holanda), y de plantas de producción de radioisótopos (Australia, Argelia, Egipto, India), de contribuir en la generación de energía eléctrica libre de emisiones de gases de efecto invernadero y de diversificar la matriz energética nacional. En paralelo, se han desarrollado carreras específicas y de especialización para formar recursos humanos profesionales, con los niveles de conocimiento y dentro de los estándares internacionales que se requieren en este segmento industrial-tecnológico.



¹² <https://www.argentina.gob.ar/cnea/ra10>



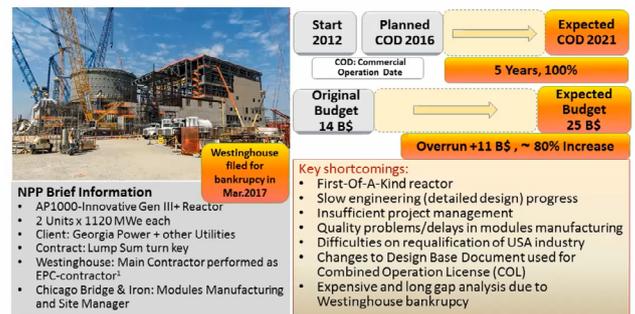
Qué hicimos hasta ahora Energía Nuclear

Una de las actividades fundantes de esta línea de trabajo fue la celebración, en el mes de octubre de 2020, del seminario *Accidente Nuclear de Fukushima, ¿Por qué ocurrió?*, en el que el Ing. Antonio Godoy, graduado UBA y experto internacional en seguridad nuclear y en evaluación de sitios de emplazamiento de centrales nucleares, transmitió su experiencia respecto del citado accidente -desde el punto de vista de los eventos externos que lo produjeron, es decir, el terremoto y el consecuente tsunami-, el cual estudió en detalle como miembro de la *Agencia Internacional de Energía Atómica* (IAEA, por sus siglas en inglés) y en particular como parte del equipo responsable de la elaboración de los informes técnicos correspondientes.

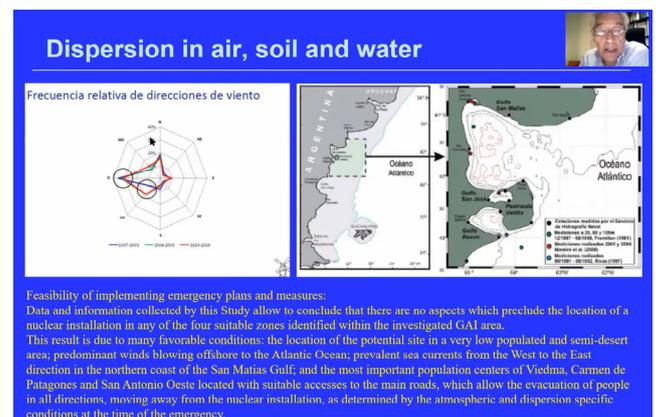
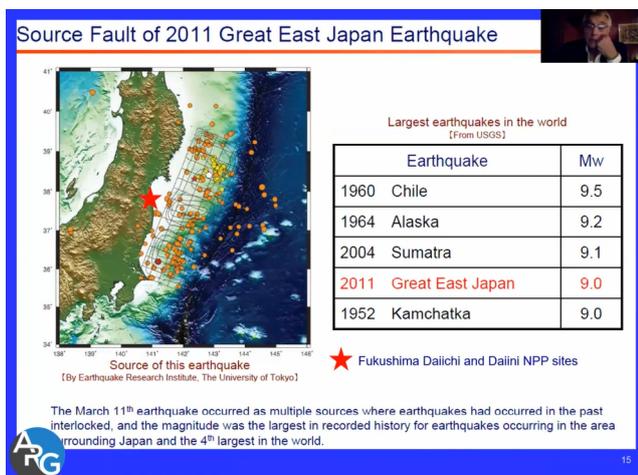
En la presentación se abordaron especialmente los interrogantes sobre por qué el sitio sufrió un *blackout* extendido, así como por qué el *staff* de la planta no pudo refrigerar los reactores nucleares y mantener la función de contención, y se incluyeron algunas conclusiones y lecciones aprendidas como consecuencia del accidente ([acceder al video](#)).

También, en el mes de marzo del mismo año, se llevó adelante el seminario *Gestión de Proyectos Nucleares*, en el que el Ing. Oscar Mignone, graduado UBA y experto internacional en la temática, disertó sobre los principales desafíos asociados a la gestión de proyectos de construcción de centrales nucleares –tanto en las fases de preparación del proyecto como de construcción ([acceder al video](#)).

Nuclear Project Management USA-Vogtle NPP-Units 3&4



Asimismo, se destaca el seminario realizado en el mes de abril de 2021, titulado *Selección y evaluación del sitio de emplazamiento para una central nuclear*, en el que el Ing. Antonio Godoy transmitió su nutrida experiencia internacional en la materia e hizo también referencia a un trabajo realizado en años recientes en el ámbito de nuestro país ([acceder al video](#)).





También durante 2021, se impulsó la publicación de una serie de tres gacetillas de divulgación, una de las cuales guardan relación directa con esta línea de trabajo, CAREM: *Central Argentina de Elementos Modulares* -cuyos contenidos estuvieron a cargo de la Ing. Esp. Viviana Escobedo¹³.

A continuación se presenta una reseña de dicha gacetilla ([acceder a la publicación](#)):

CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares) es un proyecto coordinado por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de Argentina, con el propósito de: desarrollar, diseñar y construir un tipo de central nuclear, pequeña e innovadora, con alta competitividad, económica y alto nivel de seguridad.

La construcción del prototipo CAREM se desarrolla en un predio propiedad de la CNEA ubicado en las afueras de Lima (partido de Zárate, provincia de Buenos Aires), y que forma parte del área conocida como “Complejo Nuclear Atucha”, donde ya se encuentran las centrales Atucha I y II. El reactor prototipo CAREM se está construyendo, utilizando tecnología nacional, al menos el 70% de los componentes y servicios relacionados para CAREM provienen de empresas argentinas

CAREM está diseñado como una fuente de energía para el suministro eléctrico de regiones con demandas de consumo relativamente pequeñas. La aplicación de CAREM, tanto nacional como para exportación, es abastecer a regiones aisladas o alejadas, que por cuya cantidad de habitantes, el transporte de la energía se vea imposibilitado y/o encarezca sensiblemente el costo de la electricidad. También es importante, al ser los módulos pequeños, se facilita la instalación en la red de lugares muy remotos permitiendo balancearla.

El Reactor CAREM es un reactor nuclear con un diseño totalmente innovador. Entre sus características centrales dispone de un circuito primario integrado (esto permite minimizar el accidente de pérdida de refrigerante), Refrigeración por circulación natural (elimina la necesidad de bombas del circuito primario y logra una reducción significativa de cañerías y otras conexiones hacia el exterior de la vasija del reactor), Autopresurizado (no requiere un recipiente presurizador por separado) y Sistemas de seguridad pasivos (cumplen las funciones de seguridad sin suministros de energía o necesidad de acciones humanas).

CAREM: Central Argentina de Elementos Modulares
16/03/21

PROYECTO VECTORES Sistema Nuclear

El presurizador externo que se posula en este sistema nuclear...

Sistema de seguridad pasivos, es decir se cumplen las funciones de seguridad sin suministros de energía o necesidad de acciones humanas, en otros casos se diseñan en base a fenómenos que se dan naturalmente, como por ejemplo caída por gravedad.

Cabe destacar que el diseño de CAREM cuenta con componentes totalmente argentinos, tanto lo son el sistema de control y fuente de reactividad (se reemplazan los tipos de barras de control por mecanismos hidráulicos) y los generadores de vapor son de forma helicoidal. El circuito secundario del CAREM es convencional. En la ilustración, se muestra la comparación de un reactor PWR clásico y CAREM.

Se breves descripciones de las principales características de seguridad nuclear:

CAREM cuenta con un principio de defensa en profundidad (diferentes niveles de seguridad, cuando falla una función en un nivel, se tiene otro nivel que realice tal función) de cinco niveles totalmente diseñado por los especialistas de Seguridad Nuclear de CNEA.

- En el primer nivel se realizan las funciones de operación normal por diseño, ya basadas en la eliminación de gases, apertura de válvulas energizadas, flujo de circulación natural. Además, que cuenta con componentes de alta calidad (calidad nuclear), que garantizan la producción de energía segura.
- En el segundo nivel, los sistemas de protección operan durante la operación normal para disminuir el riesgo de producirse incidentes, o determinado tipo de eventos, pueden ser controlados en este nivel.
- El tercer nivel, tiene diferentes etapas.
 - En caso de suceder un evento de falla, el CAREM cuenta con los sistemas de seguridad pasivos (sistema de circulación, eliminación de calor residual, y de ligadura de agua a baja presión). La característica innovadora es que estos tienen un principio de funcionamiento pasivo y tienen la capacidad de extender el calor de disipamiento del reactor durante un periodo de gracia de 72 horas. En este etapa el suministro de

UBA INVESTIGACIÓN | PIUBAD | UBA | UBA

Más recientemente, se incorporó el Ing. Facundo Fraguas, miembro de la Unidad de Gestión de Proyectos Nucleares de la empresa Nucleoeléctrica Sociedad Anónima, NASA, quien impulsó una serie de iniciativas que potenciaron considerablemente la agenda del vector.

Entre ellas, se destaca la realización del Curso de Posgrado en Energía Nuclear, dictado en la Facultad de Ingeniería UBA durante el primer semestre de 2022, y que ya cuenta con sus primeros egresados. En la imagen se muestra a esta primera cohorte en su vista al Complejo Nuclear Atucha.



¹³Graduada de la Facultad de Ingeniería de la UBA. Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA. Gerencia de Ingeniería.



Asimismo, y también gracias a los aportes del Ing. Fraguas, se realizaron importantes encuentros de divulgación durante 2022 junto a la Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA, y Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima, NASA.

El primero de ellos fue realizado en el marco de la Semana de la Ingeniería y contó con la participación de la Dra. Sol Pedre, Gerenta de Área CAREM, CNEA, quien disertó sobre actualidad del proyecto CAREM y su importancia para Argentina ([acceder al video](#)).

Concepto de los SMR y sus ventajas

SMALL MODULAR REACTOR:
Un reactor avanzado pequeño y modular de entre 20 y 300 MW.

Simplificación por modularización e integración de sistemas.
Imagen: corteza de un SMR.

Configuración de un layout de planta multi-modular.
Imagen: corteza de un reactor modular.

Optimización de la seguridad a través de sistemas pasivos.
Sistemas optimizados para la gestión de accidentes severos.
Sistema pasivo de enfriamiento de la contención.
Condensación supresora de presión.
Imagen: corteza de un SMR.

En nuestro país, esta clase de reactores tiene el tamaño adecuado para lograr una alta integración de componentes de fabricación nacional, facilitar la amortización de capital y reducir la necesidad de agrandar la red eléctrica nacional.

CAREM
PROYECTO CAREM
Comisión Nacional de Energía Atómica



descarbonización de la matriz energética mundial, dadas sus nulas emisiones de dióxido de carbono durante la operación, la larga vida útil de las centrales y su capacidad de suministrar energía eléctrica de base, ayudando a reducir la inestabilidad de las redes ocasionada por la intermitencia en la generación eléctrica de fuentes energéticas renovables como la eólica y la solar.

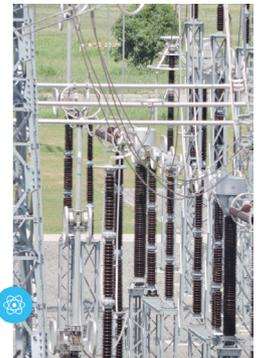
A su vez, destacó, las diversas opciones tecnológicas que presenta el sector nuclear para la provisión de energía, con módulos que llegan hasta los 1600 MW y la nueva oferta que estará disponible en el corto plazo de centrales modulares pequeñas, entre las cuáles se destaca la Central Argentina de Elementos Modulares, CAREM ([acceder al video](#)).

La industria de generación eléctrica
Tendencia del abastecimiento de la generación

- 1882 = 100% Carbón. Luego > Hidro > Petróleo > Gas > Nuclear > Solar > Eólica
- 1982 = 38% Carbón + 22% hidro + 17% Petróleo + 12% Gas + 11% Nuclear

El 67% de la energía eléctrica del planeta (8.500 TWh/año) se produce por combustión.

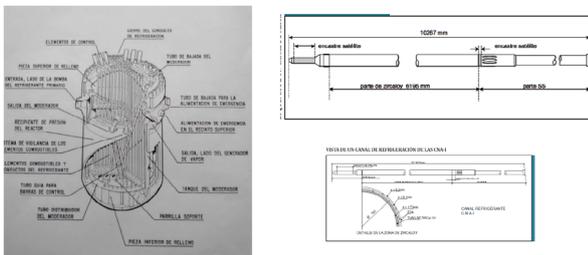
- Se encienden las primeras alarmas por la emisión excesiva de CO₂ a la atmósfera y su correlación con el calentamiento global.



El segundo, titulado ‘De la adolescencia a la adultez en el sector nuclear argentino’, estuvo enmarcado en el citado Curso de Posgrado en Energía Nuclear como clase magistral, y contó con el Lic. Jorge Sidelnik, Vicepresidente de Nucleoeléctrica Argentina S.A., como disertante, quien se focalizó fundamentalmente en las reparaciones hechas al Reactor Nuclear Atucha I ‘Presidente Juan Domingo Perón’ en el año 1988, incluyendo también un repaso por los principales proyectos del sector en nuestro país en la actualidad ([acceder al video](#)).

Estado Previo a Agosto 1988

C.N. Atucha I (J. D. Peron)



El tercero de estos encuentros estuvo titulado ‘La energía nuclear en la era de la descarbonización’, también se enmarcó en el citado Curso de Posgrado en Energía Nuclear como la última de sus clases magistrales, y estuvo a cargo del Ing. José Luis Antúnez, graduado UBA y Presidente de Nucleoeléctrica Argentina S.A. En su presentación, el Ing. Antúnez destacó el rol esencial de la energía nuclear en la



Por último, en lo que respecta a la formación de recursos humanos y la generación de nuevo conocimiento y contenidos útiles al sector, se destaca la finalización reciente de un Trabajo Profesional de ingeniería industrial titulado ‘Análisis de factibilidad del módulo comercial de un reactor CAREM’, impulsado desde el vector, desarrollado por el estudiante avanzado Reinaldo Panoso y tutorizado por uno de sus integrantes, el Ing. Pablo Rattel. Asimismo, se destaca el impulso desde el vector de una tesis de grado de ingeniería industrial, actualmente en preparación, titulada ‘Rol de la Energía Nuclear en la Transición Energética y la Descarbonización’, a desarrollarse por el estudiante avanzado Facundo Toniolo y tutorearse por el Ing. Pablo Rattel.





Industria y Tecnología Nuclear

En lo que respecta a esta línea de trabajo, se destaca la publicación -en el marco de la serie ya mencionada- de las gacetillas de divulgación *Reactor nuclear argentino multipropósito RA-10*, cuyos contenidos estuvieron a cargo del Ing. Herman Blaumann¹⁵, y *Breve historia de la formación de recursos humanos para el sector nuclear en la Facultad de Ingeniería de la UBA*, a cargo del Lic. Gerardo Quintana¹⁶.

A continuación se incluye una reseña de la publicación focalizada en el reactor RA-10 ([acceder a la publicación](#)):

El Estado Nacional, a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica, lleva adelante la construcción del Reactor Nuclear Argentino Multipropósito RA-10, una instalación que tendrá un impacto estratégico en las áreas de salud, ciencia y técnica e industria.

Las etapas de diseño, construcción y montaje se llevan adelante con un aporte de más del 80% de empresas e instituciones locales en tecnología y servicios asociados. CNEA e INVAP trabajan en forma conjunta en la construcción de la nueva instalación, integrando y desarrollando capacidades nacionales en distintas áreas específicas de la pequeña y mediana industria.

El Proyecto tiene como antecedente los setenta años de experiencia de la CNEA en la actividad nuclear, los siete reactores de investigación construidos en Argentina y los cinco reactores exportados, principalmente el moderno OPAL, un Reactor con similares características a las del RA-10 que INVAP construyó en Australia en el año 2007.

El Reactor RA-10 tiene como objetivo asegurar el abastecimiento local de radioisótopos, contribuyendo también a la demanda del mercado mundial; proveer instalaciones para el ensayo de combustible nuclear completando las capacidades que nuestro país posee en cuanto a la producción de este suministro crítico y brindar nuevas herramientas para la investigación básica.

Concluida la etapa de diseño, con más de 1.000.000 de horas hombre invertidas y más de 10.000 documentos técnicos generados, obtenidas las licencias de construcción y la ambiental, y realizados los estudios de campo y de percepción social, se licitó la obra civil.

En marzo del año 2016 comenzó efectivamente la obra civil que implicó el desmalezado del predio y la preparación del suelo para que, en mayo de 2017, se celebrara la primera colada de hormigón de la losa de fundación del Edificio del Reactor.

La Pileta principal del reactor fue montada en agosto de 2018, el Tanque de Decaimiento en febrero de 2019, en el mes de junio del mismo año la Pileta de Servicios y en el mes de octubre del 2020 las Bombas del Sistema Primario. A la fecha la obra tiene un grado de avance acumulado del 62% y se espera tener la Licencia de Puesta en Marcha a fines de 2023.

Los principales aportes del RA-10 se verán en materia de Salud (producción de Tecnecio 99, un radioisótopo que se utiliza de forma creciente en el mundo para el diagnóstico de enfermedades), Ciencia y Tecnología (ofrecerá a la comunidad científico-tecnológica instrumentos de primer nivel mundial asociados a técnicas neutrónicas), Industria y la Tecnología de la Información y la Comunicación (producción de silicio dopado, materia prima de altísima calidad para el desarrollo de aplicaciones electrónicas de avanzada), Tecnología Nuclear (posibilitará estudiar el comportamiento de materiales nucleares, ampliando las capacidades de producir y calificar nuevos combustibles y componentes para futuros reactores experimentales y de potencia) y Comercial (volumen anual de ventas proyectado para el complejo RA-10 superaría los 90 millones de USD).

Reactor nuclear argentino multipropósito RA-10
16/03/21

PROYECTO VECTORES
Sistema Nuclear
Industria y Tecnología

Reactor nuclear argentino multipropósito RA-10

Reactor A. De Operar y reactor para ensayo de combustibles y de investigación

Reactor B. De Operar y reactor para producción de radioisótopos y para ensayo de combustibles

Reactor C. Capotubo de los reactores operativos de reactor RA-10

A la fecha la obra tiene un grado de avance acumulado del 62% y se espera tener la Licencia de Puesta en Marcha a fines de 2023. La inversión total para el momento es de US\$ 200 M y el costo total del proyecto es de US\$ 300 M.

El 80% de los suministros son provistos nacionalmente a la medida de construcción, la CNEA se encuentra instalando en la capotubación del RA-10 para asegurar de esta forma el primer suministro de combustible.

3. EL COMPLEJO BANDA

En articulación con el reactor RA-10, operando la Planta de Producción de Radioisótopos por Fusión (PPRF), el Laboratorio Argentino de Física de Neutrones (LANF), la Planta Industrial de Elementos Combustibles para Reactores de Investigación (PRICI) y el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM).

Este conjunto de instalaciones conformará un centro de radioisótopos médicos, ciencia y tecnología nuclear, un laboratorio único en su tipo en el país, que asegurará la plena utilización del reactor RA-10 para los proyectos previstos.

4. APLICACIONES

El Centro de radioisótopos médicos, ciencia y tecnología nuclear tendrá un impacto estratégico en diversos sectores.

Impacto en la Salud

En el marco, la Comisión Nacional de Energía Atómica, a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica, llevará adelante la construcción del Reactor Nuclear Argentino Multipropósito RA-10, una instalación que tendrá un impacto estratégico en las áreas de salud, ciencia y técnica e industria.

2 De los 90 millones proyectados, 60 millones serán invertidos en obra civil y 30 millones en equipos como Reactores de Ensayo de Combustibles, de Operar y de Investigación, de Operar y de Investigación y de Operar y de Investigación, los 30 millones serán invertidos en obra civil y 30 millones en equipos, Oficina de Percepción Social y Oficina de Percepción Social y Oficina de Percepción Social.

JUBA INVESTIGACIÓN
PUBAD
JUBA UBA

¹⁵Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA. Gerente del Proyecto RA-10.

¹⁶Facultad de Ingeniería UBA.



Asimismo, a continuación se incluye una reseña del material enfocado en la formación de recursos humanos para el sector nuclear en la Facultad de Ingeniería de la UBA ([acceder a la publicación](#)):

Ha sido en el área del posgrado donde fue y es muy intensa la formación de recursos humanos en temas nucleares por parte de la FIUBA.

En 1974 comenzó un curso de posgrado, dictado íntegramente en la Facultad denominado *Ingeniería Nuclear*. Además de algunos docentes de departamentos básicos de la FIUBA participaban muchos investigadores de la CNEA. El curso se extendió a lo largo de 20 años, entre 1974 a 1994. Podemos estimar como en 400 el número de egresados.

A partir del año 1994 se produjo una reestructuración de los organismos nacionales relacionados con las actividades nucleares. Sin embargo dado que las actividades de colaboración entre la FIUBA y la CNEA en cuanto a la formación de recursos humanos en áreas nucleares eran reconocidas como altamente exitosas, las autoridades de la CNEA buscan continuarla, lo cual se logró dos años después, en 1996, bajo otro formato y objetivos, con la creación de la *Carrera de Especialización en Aplicaciones Tecnológicas de la Energía Nuclear*, CEATEN.

La CEATEN tiene la ventaja de ser una carrera de excelencia formativa que permite a los graduados desarrollarse con relativa autonomía, aun con su corta duración, en los distintos ámbitos a los que ingresan. Desde 1996 hasta la fecha a través ya han egresado alrededor de 250 profesionales de las más diversas especialidades.

La Carrera depende de la UN Cuyo - Instituto Balseiro y de la UBA - FIUBA, su realización es en acuerdo con CNEA y la auspician la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), Nucleoeléctrica Argentina (NASA) e INVAP. Permite realizar anualmente visitas al Reactor de Investigación RA-0 en Córdoba, Centrales Nucleares, Central Hidroeléctrica Río Grande, Recorrido por los Centros Atómicos, Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, Planta de Agua Pesada.

Por otra parte, en 1980 se organizó entre la Facultad de Ingeniería UBA y la Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear de la CNEA un

curso de posgrado, anual e intensivo denominado *Protección Radiológica y Seguridad Nuclear*. Su dictado comenzó en marzo de 1981 y conto desde sus inicios con el auspicio y apoyo del Organismo Internacional de la Energía Atómica. Este apoyo concreto fue a través del envío anualmente, por parte del OIEA, de alrededor de 15 alumnos becados extranjeros. A estos se sumaban otros tantos alumnos becados pertenecientes a la CNEA, Gendarmería, Policía Federal y otros organismos del Estado. Desde ese inicio, 1981, hasta el presente hemos tenido un total de 1400 graduados.

Cabe señalar que estas carreras se llevan a cabo por instituciones nacionales, universitarias como la UBA y la UNC, y de carácter tecnológicas como la CNEA, ARN, NASA etc. Esto constituye una situación de complementación entre lo académico (Universidades) y lo tecnológico. Las primeras aportan los conocimientos básicos y otorgan la solidez y garantía pedagógica, mientras que las restantes aportan el saber especializado del área nuclear.

Por ultimo cabe mencionar un conjunto de actividades de colaboración entre la Facultad de Ingeniería y la Corporación Estatal Rusa ROSATOM que comenzaron en el año 2012. Estas se llevaron a cabo en el marco de un convenio o memorándum de entendimiento (MOU), que se firmó en Moscú en junio de 2014.



Por último, en lo que respecta a la formación de recursos humanos y la generación de nuevo conocimiento y contenidos útiles al sector, se destaca el impulso a una serie de actividades académicas que han empezado a dar sus frutos. Las mismas se enumeran a continuación, ordenadas según las sub-



líneas de trabajo definidas dentro de la línea 'Industria y Tecnología Nuclear'.

Aplicaciones tecnológicas en centrales nucleares.

Se trata de la temática en la que se cuenta con mayor cantidad de antecedentes, buena parte de ellos debidos al trabajo del Dr. Ing. Mauricio Chocrón¹⁷, quien dirigió una serie de tesis de Ing. Química vinculadas a la temática de las aplicaciones tecnológicas en centrales nucleares, entre ellas las desarrolladas por los Ings. Martín Irigaray y Emanuel Vázquez, miembros de este vector desde sus inicios, así como de las ingenieras Ailén Salemme y Nicole Seinhart, y del Ing. Nicolás Godman. A continuación se presenta la lista completa de estos trabajos

Nombre del Trabajo Final o Tesis	Alumno/a
Aplicaciones no eléctricas de la energía nuclear: calefacción domiciliar, almacenamiento de energía y reducción de gases de efecto invernadero	Seinhart, Nicole
Los Circuitos Cerrados para transferencia de energía. Aislación y experimentación en centrales termoeléctricas y plantas piloto. Aspectos conceptuales y de diseño	Goldman, Nicolás
Conversión de energía empleando metales líquidos como fluidos de transferencia de calor en centrales nucleares y térmicas: Ciclos, diseños conceptuales termodinámicos de equipos y facilidad experimental	Salemme, Ailén
Generadores de vapor helicoidales: Diseño térmico, control de ensuciamiento y calidad de agua de alimentación. Relación con los procesos separativos avanzados	Irigaray, Martín
Propiedades de fluidos refrigerantes para reactores de IV Generación: Sodio, Tensión Superficial, Ecuación Fundamental. Aplicaciones a diseño conceptual de equipos.	Vázquez, Emanuel Alejandro

Más recientemente, se impulsó una nueva tesis de grado en esta sub-línea de trabajo, actualmente próxima a terminarse, titulada 'Análisis y cuantificación de fenómenos de corrosión asistida por flujo en el circuito secundario de la Central Nuclear Embalse durante la operación normal y transitorio del segundo ciclo de operación', tutorizada por el Dr. Ing. Chocrón junto al Ing. Martín Irigaray y llevada adelante por la estudiante avanzada Julieta Mazali.

Nuevamente en relación a Ing. Química se impulsó durante 2021 dos pasantías en la CNEA, también

coordinadas por el Dr. Ing. Chocrón y el Ing. Irigaray. A continuación se presenta su descripción básica

Pasantía #1. Tema: "Seguimiento y análisis del radionucleido Zr-95 en el Sistema Primario/Moderador de la Central Nuclear Atucha II"

Pasante: Michelle Park

Descripción: El presente trabajo tuvo por objeto analizar y determinar las causas de los valores alcanzados y tendencias de actividad del radionucleido Zr-95 medido en el fluido refrigerante del Circuito Primario y Moderador de la Central Nuclear Atucha II. El estudio del tema resulta de interés dado que permite explorar la posibilidad de emplear el seguimiento de la actividad de Zr-95 como un indicador complementario a la detección de fallas de elementos combustibles y a las variaciones de hidrógeno y oxígeno disuelto en el medio refrigerante del reactor.

Pasantía #2. Tema: "Acumulación de hierro durante los períodos de estados transitorios en la Central Nuclear Embalse"

Pasante: Melina Sol Rodríguez

Descripción: Los objetivos del presente trabajo fueron llevar a cabo un relevamiento de los datos químicos de transporte de productos de corrosión del Ciclo Secundario de la Central Nuclear Embalse durante estados de operación normal y transitorios de arranque. Ello permitió obtener resultados acerca de la acumulación durante ambos estadios de operación de dichas especies en el interior del Generador de Vapor y proponer distintos modelos de acumulación y perfil de depósito de hierro y Crud.

Por último en relación a esta sub-línea de trabajo, se destaca el Trabajo Profesional de Ing. Mecánica titulado 'Ingeniería básica del sistema de seguridad de extracción de calor residual del CAREM', tutorizado por el Ing. Esteban Pizzichini y desarrollado por el entonces alumno avanzado y ya graduado Ing. Martín Di Pace.

Aplicaciones en alimentos. Actualmente se está

¹⁷Facultad de Ingeniería UBA. Departamento de Ing. Química. Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA. Jefe del Departamento de Química y Procesos en Instalaciones Nucleares.



llevando adelante en el marco del vector un Trabajo Profesional de ingeniería industrial titulado 'Implementación de una planta ionizadora de alimentos centrada en carne de exportación', desarrollado por los estudiantes avanzados Ramiro Lerman Rey, Federico Barg y Gaspar Lucanera, y tutorizados por el Ing. Hernán Fernández y el Ing. Pablo Rattel. Se trata de un trabajo pionero, que esperamos pueda abrir caminos para avanzar en el fortalecimiento de esta importante sub-línea de trabajo.

Medicina nuclear. Se ha finalizado recientemente en el marco del vector la primera tesis relacionada con la medicina nuclear, titulada 'Reactores nucleares de investigación y su enfoque en la biomedicina', desarrollada por el estudiante avanzado de ingeniería industrial Maximiliano Drab y tutorizada por el Dr. Eduardo Nassif. Esta tesis analiza la utilización de los reactores de investigación en la medicina nuclear, y cómo los avances del país en esta área contribuye a su desarrollo tecnológico. Por otro lado hace un análisis respecto a la percepción que tiene la sociedad sobre la industria nuclear. Se trata de un trabajo pionero, que esperamos pueda abrir caminos para avanzar en el fortalecimiento de esta importante sub-línea de trabajo.

Minería de uranio y combustible nuclear. Se ha finalizado recientemente en el marco del vector el primer Trabajo Profesional relacionado con esta temática, titulado 'Diseño de una línea de producción para combustibles del tipo PWR', desarrollada por Lucas Omar Galigniana y por María Emilia Garrido, estudiantes avanzados de ingeniería industrial, y tutorizada por el Ing. Pablo Rattel y el Ing. David Canal. Asimismo, se encuentran en desarrollo dos trabajos finales adicionales, cuyos títulos y estudiantes vinculados se expresan a continuación. También en este caso, se trata de trabajos pioneros, que esperamos puedan abrir caminos para avanzar en el fortalecimiento de esta importante sub-línea de trabajo.

Nombre del Trabajo Final	Alumno/a
Factibilidad de Extracción Minería Uranio (Biolixiviación)	Carreira, Juan Pablo; Garavaglia, Ignacio
Recuperación del metanol usado para el lavado del AUC (uranil tricarbonato de amonio) en el área de precipitación para la obtención de UO ₂ .	Lopez del Valle, Joaquín



 Proyecto
Vectores