



El sector nuclear argentino como dinamizador de la Ciencia, la Tecnología, la Producción y el Empleo de Calidad

Andrés J. Kreiner ^{1,2,3}

¹Secretario General de APCNEAN (Asociación de Profesionales de la CNEA y la Actividad Nuclear).

²CNEA, CONICET, UNSAM. Investigador Superior, Prof. de Física.

³CyTA - CNEA-UyO – Frente Todxs por CNEA-ATE-CNEA

Agradecimiento: Colegas + Ing. José Luis Antúnez (ex-Presidente NASA), Dr. Gabriel Barceló (IESO).

<https://agendarweb.com.ar/2020/08/06/antunez-barcelo-kreiner-no-hay-futuro-en-abandonar-nuestra-historia-nuclear/>

Instituto Patria, 30/10/2020.

Leitmotiv/premisas principales

- **Argentina necesita industrializarse.**
- **Necesitamos crear empleos de buena calidad.**
- **Necesitamos dinamizar las PyMES y el mercado interno.**
- **Necesitamos minimizar los gastos en moneda extranjera (sustitución de importaciones).**
- **Necesitamos aumentar nuestra capacidad de exportación.**

Tenemos que analizar los proyectos del sector desde esta perspectiva. Está en **ADN del sector.**

- **Cuando hablamos de Ciencia y Tecnología hablamos necesariamente de política y de economía.**
- **Esas dimensiones impactan en todos los aspectos de la vida de un país.**
- **Y cuando hablamos de energía, que es el tema principal de esta presentación y uno de los insumos esenciales para una sociedad, tenemos que hablar de seguridad y autosuficiencia energética y tecnológica (es decir de soberanía).**

Temario

- **Datos sobre nuestro desarrollo nuclear/perinuclear.**
- **Tecnologías y reactores. CANDU, PWR. Innovación.**
- **Algo de historia. Atucha II, Embalse (PEV).**
- **Diagnóstico actual.**
- **Impacto en la economía local.**
- **Proyección internacional.**
- **Competitividad de la energía nuclear.**
- **Comentarios finales. Propuesta.**

Argentina – Desarrollo Nuclear

- A lo largo de 70 años, la sociedad argentina logró generar un conglomerado científico-tecnológico-industrial que ha colocado a nuestro país en una posición importante y respetada a nivel internacional en el terreno de las **aplicaciones pacíficas de la tecnología nuclear y perinuclear** (CNEA, 1950).
- El principal motor de este desarrollo fue el **Estado a través de sus inversiones y de su gran poder de compra**, logrando organizar instituciones de Ciencia y Técnica (CyT) de primera magnitud como la **Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)** pero también un conglomerado de empresas públicas, como **INVAP S.E.** (Investigación Aplicada Sociedad del Estado, propiedad del Estado Rionegrino), **ENSI S.E.** (Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería Sociedad del Estado, propiedad parcial del Estado Neuquino y de la CNEA, con su Planta Industrial de Agua Pesada, **PIAP**), **Dioxitek S.A.** y **NA S.A.** (Nucleoeléctrica Argentina). Además ha sabido convocar y asociarse a empresas privadas nacionales para conformar emprendimientos conjuntos como **CONUAR S.A.** (Combustibles Nucleares Argentinos), FAE S.A. (Fábrica de Aleaciones Especiales) y a muchas otras empresas grandes, medianas y PYMES que han apostado al desarrollo de esta tecnología como proveedores calificados.

Sector nuclear/CNEA – Desarrollo

- 3 centrales de potencia (**NASA**) + **CAREM Prototipo 32 MW en construcción (CNEA)**.
- Planta industrial de Agua Pesada (**PIAP. CNEA-ENSI**).
- Fábrica de Combustibles Nucleares (**CONUAR**).
- 3 Empresas certificadas ASME Nuclear para fabricación de componentes de Reactores (**CONUAR – IMPSA – AESA**).
- Planta de Purificación de Uranio (UO_2) en Córdoba + una en construcción en Formosa (**Dioxitek**). Producción de Co60 (Medicina, Industria) en Embalse.
- Planta piloto de Enriquecimiento de Uranio (Pilcaniyeu). Ultracentrífugas y laser (**CNEA**).
- 3 Centros Atómicos, CAB, CAC y Ezeiza, con sus Institutos Universitarios de Formación (Balseiro – Sábato – Beninson). **CNEA**.
- 5 reactores de investigación + **RA-10 en construcción**. Prod de radioisótopos de uso médico (Mo/Tc 99) y aplic. industriales (semiconductores). **CNEA**
- 6 Centros de Medicina Nuclear + varios en construcción. **CNEA parcial**.
- 10 Aceleradores de Partículas. Producción de radioisótopos. **CNEA**
- 4 Plantas de Irradiación para usos industriales. Esterilización, etc. **CNEA**
- Autoridad Regulatoria Nuclear (**ARN**).

Centrales Nucleoeléctricas

Las 3 Centrales Nucleares producen entre el **5 y el 6 %** del total del consumo de energía eléctrica del país.

- **La línea histórica Uranio natural – Agua pesada ha garantizado la máxima seguridad energética e independencia tecnológica con producción local de bienes y servicios con inversiones mil millonarias (en U\$) a lo largo de más de 50 años.**
- **Enorme aprendizaje en la construcción de Atucha-II y el Proyecto Extensión de Vida Embalse (PEV).**
- **Control total del ciclo de combustible y producción de agua pesada.**

Latinoamérica & Argentina



Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) – ENSI – Arroyito - Neuquén

- Planta industrial de producción de agua pesada más grande del mundo.
- Demandó una inversión de más de 1.000 MUSD + 800 M\$ recientes.
- A lo largo de su historia produjo el total del agua pesada para devolución de la utilizada en Embalse, el total de la de Atucha-II y exportaciones menores a Canadá, Estados Unidos y Corea.
- No operativa desde 2017 - Más de 350 trabajadores altamente calificados fueron despedidos. Plantel diezmado.
- Se necesitan 400 toneladas de agua pesada para reposición (30 años) y es también insumo de los reactores de investigación exportados por INVAP.



Planta Industrial de Agua Pesada

Si se sigue permitiendo que la planta se degrade terminaríamos importando agua pesada.

CNEA – Desarrollo Nuclear/Perinuclear

- **I+D en técnicas avanzadas de medicina nuclear y radioterapia: BNCT, Centro de Protonterapia (primero en Latinoamérica).**
- **Desarrollo de un PET (Hospital de Clínicas).**
- **Programa de desarrollo de aceleradores (BNCT y otras aplicaciones). Exportación a Corea.**
- **I+D en Energía Solar (terrestre y satelital: SAOCOMs, paneles y antenas).**
- **Investigación básica y aplicada en Física, Química, Materiales, Radiobiología (1 de los organismos de mayor producción científica).**
- **Minería: exploración de yacimientos de materiales nucleares.**
- **Producción de elementos combustibles y blancos de irradiación.**
- **Institutos conjuntos con CONICET: Iteda (astropartículas) e INN (Nanociencia y Nanotecnología).**
- **Laboratorio de Haces Neutrónicos (LAHN).**
- **Ensayos no destructivos (ENDE).**
- **Prospectiva energética. Etc., etc...**



1 PROTOTIPO REACTOR MODULAR PEQUEÑO EN CONSTRUCCIÓN (CAREM)

3 CENTRALES NUCLEARES DE POTENCIA EN OPERACIÓN

1 PLANTA DE PURIFICACIÓN DE URANIO

1 PLANTA INDUSTRIAL DE AGUA PESADA

1 FÁBRICA DE COMBUSTIBLES NUCLEARES

1 PLANTA DE ENRIQUECIMIENTO DE URANIO

3 INSTITUTOS DE FORMACIÓN ACADÉMICA

3 CENTROS ATÓMICOS

6 REACTORES DE INVESTIGACIÓN

1 COMPLEJO MINERO FABRIL

1 PLANTA DE PURIFICACIÓN DE URANIO EN CONSTRUCCIÓN

8 ÁREAS DE RESTITUCIÓN AMBIENTAL

11 LOCACIONES CON ACTIVIDAD MINERA

6 CENTROS DE MEDICINA NUCLEAR

6 CENTROS DE MEDICINA NUCLEAR EN CONSTRUCCIÓN

1 REACTOR DE INVESTIGACIÓN EN CONSTRUCCIÓN (RA-12)

5 ACELERADORES DE PARTÍCULAS PARA INVESTIGACIÓN

5 ACELERADORES DE PARTÍCULAS PARA PRODUCCIÓN DE RADIONÚCLIDOS

1 POLO TECNOLÓGICO

4 PLANTAS DE IRRADIACIÓN PARA USOS INDUSTRIALES

Dos Tecnologías

- 1. Uranio Natural, U_{nat} (0.7% ^{235}U + 99.3% ^{238}U) + D_2O .
 D_2O modera (frena) los neutrones para poder fisiónar el ^{235}U . La propiedad crucial de D_2O es su muy baja absorción de neutrones, y con esto un reactor puede funcionar con U_{nat} . No así con H_2O , porque el hidrógeno absorbe mucho más que el deuterio (651 veces más).
CANDU = Canada - Deuterio - Uranio, PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor).
- 2. Uranio Enriquecido U_{enr} (3 - 5% ^{235}U) + H_2O .
Desperdiciamos una gran cantidad de neutrones mediante absorción en H_2O : PWR (Pressurized Water Reactor).
- Ver para más detalles: PRESENTACION de A. J. Kreiner en COPIME, 07-09-2020.
<https://www.youtube.com/watch?v=RokUnsJVH5o>

Tipos de Reactores

- **CANDU & PWR** son tecnologías complementarias (CANDU **pos quemador** para PWR). **Hualong** es un tipo de PWR de diseño chino.
- **CANDU: Alta versatilidad en combustibles nucleares por la abundancia neutrónica.**
- **Innovación Tecnológica: Diseños Avanzados como EC6, AFCR, AHWR y reactores reproductores de torio (posibilidad de combustible ilimitado).**

Algo de historia

- **Creación de la CNEA, 1950, para asegurar la capacidad autónoma y soberana en energía nuclear.**
- **RA-1: 1958.**
- **Fines de los 60-ppios de los 70. Decisión estratégica: Agua pesada y uranio natural.**
- **CN Atucha I: 1968-1974**
- **CN Embalse: 1974-1983**
- **PIAP: 1975-1993.**
- **CN Atucha II: Contrato original 5/1980 (KWU). Revivida en 2005. Terminada por Arg. en 2014.**
- **CAREM: puntapié inicial 1984. Obra:2014.**
- **Proyecto de Extensión de Vida de Embalse (PEV): comienza en 2010, termina en 2019.**

Energía nuclear en la Argentina

- 1974- Contratación de la CN Embalse con Canadá, tecnología CANDU. **Transferencia de la tecnología CANDU a la Argentina** y alto contenido local
- 1960/1980 Minería y producción de Uranio natural y fabricación local del combustible para Atucha y Embalse
- 1984-Puesta en marcha la CN Embalse
- 1979- Contrato con Siemens para la CN Atucha II de Uranio natural y agua pesada con **alto contenido local** y **participación de la CNEA en el Arquitecto Ingeniero del Proyecto (ENACE)**
- **PRESENTACIÓN del Ing. José Luis Antúnez en Instituto de Nanociencia y Nanotecnología, CNEA, 29-10-20,**

Energía nuclear en la Argentina

- 1980- Contrato con Sulzer para la Planta Industrial de Agua Pesada (Arroyito- Neuquén)
- 1984- Entra en servicio la CN Embalse
- **1988- La CNEA repara por sí misma los internos del reactor de Atucha I sin la intervención del diseñador original.**
- **1994- Comienza la producción de la Planta Industrial de Agua Pesada. Autosuficiencia completa para el ciclo de uranio natural y agua pesada**

Energía nuclear en la Argentina

- 1985- Comienza la paralización del Proyecto Atucha II
- 1994- Creación de Nucleoeléctrica Argentina SA (NASA) para operar y construir las CN Argentinas
- 2000- Desaparece la división nuclear de Siemens
- **2005- Relanzamiento del Plan Nuclear Argentino, con la decisión de completar el Proyecto Atucha II con recursos nacionales. Estructura jurídica para la ejecución. NASA Arquitecto Ingeniero y tecnólogo del Proyecto**

ATUCHA II Mayo 1980 – Contrato original

- **PVHWR (Reactor de recipiente de presión, de agua pesada y uranio natural) 745 MW**
- **Diseñador: KWU(Siemens)**
- **Arquitecto-ingeniero: ENACE =Unión de empresas [Propietario+Diseñador]**
- **No era un contrato “llave en mano” → Contrato por paquetes múltiples**
 - ✓ **Suministros**
 - ✓ **Servicios**
 - ✓ **Garantías**
 - ✓ **Transferencia de tecnología**
 - ✓ **Diseño del combustible**

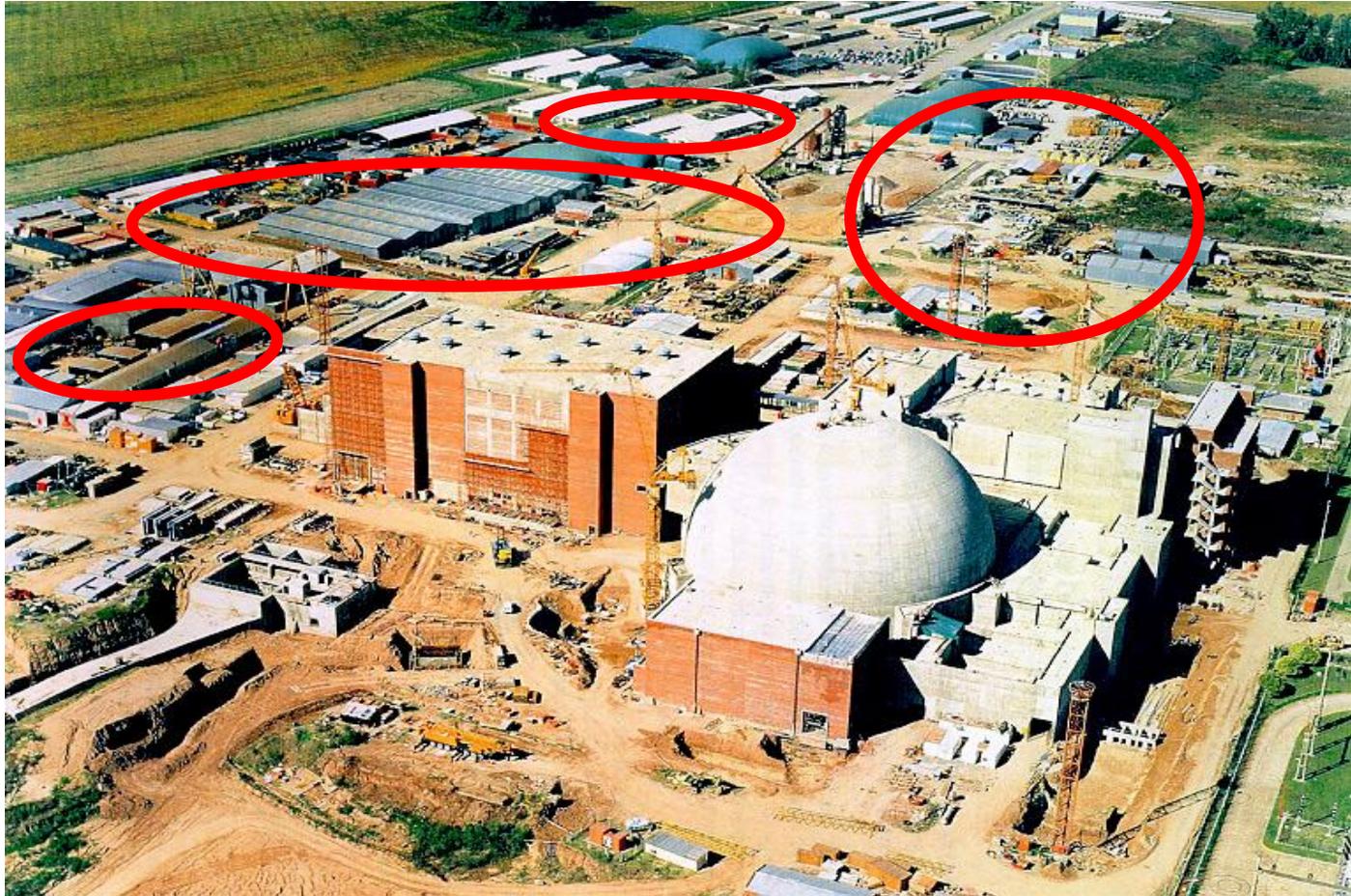
PRESENTACIÓN del Ing. José Luis Antúnez en COPIME, 19-10-20

<https://www.youtube.com/watch?v=iVc321o5-Gg>

ATUCHA II se convierte en una CN demorada (DNPP s/ nomenclatura IAEA)

- **Proyecto avanza intermitentemente desde 1987 hasta la paralización en 1994**
- **Entrega y almacenamiento de equipos y materiales en el sitio**
- **Se crea Nucleoeléctrica Argentina SA (NASA) en el año 1994**
- **Diseñador (KWU-Siemens) desaparece en el año 2000**
- **Recursos humanos e industriales dilapidados**

Condiciones del Sitio en el año 2004



PROGRAMA DE PRESERVACIÓN DE COMPONENTES Y DOCUMENTACIÓN
40.000 ton – 85.000 Items - 95 Almacenes - 120.000 documentos

2004-2005: SE DECIDE TERMINAR ATUCHA II CON RECURSOS NACIONALES

- **Decreto 981 (2005)**
 - **Instruye a NASA para que conforme la Unidad de Gestión CN Atucha II**
- **Decreto 1085 (2006)**
 - **Crea el régimen jurídico-administrativo para realizar el Proyecto CNAII**
 - **Dispone recuperar las capacidades nacionales propias de NASA y de los proveedores y contratistas locales**
- **“Los dos Proyectos”**
 - **Recuperación y formación de capacidades**
 - **Completamiento de la CNAII**

“Los dos Proyectos”: Decisiones estratégicas que impactaron en la ejecución de Atucha II

- **Convertirse NASA en el Arquitecto-Ingeniero y Autoridad de Diseño del Proyecto y realizarlo con recursos locales**
- **Lograr la transferencia de la propiedad intelectual del diseño original para poder completarlo y modificarlo**
- **Recuperar las capacidades nacionales para diseño y construcción de CN**
 - ✓ **Recursos humanos**
 - ✓ **Infraestructura**
 - ✓ **Contratistas**
 - ✓ **Proveedores**
- **Acuerdo de Cooperación Técnica con la OIEA – (ARG/4/090-01 {38 actividades principales 2006-2012})**



AGOSTO 2011

Turbogrupo instalado - 2011



Sala de control



AGOSTO 2011

Complejo Atucha I y II después de la obra



Atucha II (2014) 745 MW

Atucha I (1974) 362 MW

La obra 2006-2011 en cantidades físicas

- ✓ **DOCUMENTOS DE INGENIERÍA 130.000**
- ✓ **OBRAS CIVILES 32.000 m³ hormigón**
- ✓ **EQUIPOS 36.000 toneladas (Reactor 3.300 ton, Turbogrupos 2.700 ton)**
- ✓ **CAÑERÍAS 4.000 toneladas, 33.000 isométricos, 16.000 válvulas, 700.000 soldaduras**
- ✓ **ELECTRICIDAD E INSTRUMENTACIÓN 3.000 km de vaina de cables, 1 millón de puntos de conexión, 1.600 tableros, 12.000 instrumentos**

EVOLUCIÓN PERSONAL EN OBRA CNAII

2006		504
2007		1311
2008		3938
2009		5183
2010	PICO MAXIMO	6165
2011		5320
2012		4002
2013		2108
2014		795

Proyecto completamiento Atucha II

- ✓ **2,2 millones de horas hombre de ingeniería (95% nacional)**
- ✓ **42 millones de horas hombre de construcción y montaje (99% nacional)**
- ✓ **PUESTA EN MARCHA 500 sistemas, 1300 zonas de pruebas de presión, 18.000 tareas Mecánicas, 12500 tareas Eléctricas, 33.000 tareas de I&C**
- ✓ **CONTRATOS Y ÓRDENES DE COMPRA +15.000**
- ✓ **Pico de empleo directo 6165 personas (Junio 2010)**

CUANTO COSTÓ EL COMPLETAMIENTO DE ATUCHA II?

- **El Proyecto insumió 3.380 millones de U\$S equivalentes desde su inicio en el año 2006 hasta su PEM y entrega al Operador en diciembre del 2014**
- **Estos dólares no se insumieron como tales, solo el 7,5% de esta suma (253 MM U\$S) se pagó en dólares por compra de bienes y servicios en el exterior**
- **El 92,5% de la inversión, 35.380 millones de pesos actualizados a dic 2014 se volcaron íntegramente a la economía nacional**

Atucha II, 34 años después, mucho más que un Proyecto

- **Central para 60 años**
- **Recuperación de las capacidades de la Ingeniería Argentina para diseño y construcción de centrales nucleares de potencia**
- **Recuperación de las capacidades de contratistas y proveedores locales**
- **Primera vez en la historia de la IAEA que una empresa generadora termina por sí misma y pone en marcha una CN sin el diseñador original**

Energía nuclear en la Argentina

- **2009- Ley 26.566 Plan Nuclear Argentino. Dos Centrales más, Extensión de Vida para Embalse y Atucha I, construcción del Proyecto CAREM**
- **2010- Inicio del Proyecto Extensión de Vida de Embalse**



Embalse (1984) 660 MW
2015 Extensión de vida
2019 En servicio nuevamente 685 MW

Programa de Extensión de Vida de la Central Nuclear Embalse

- El Programa de Extensión de Vida de la Central Nuclear Embalse fue declarado de interés nacional por la Ley 26.566 del año 2009.
- La **participación** de la **Industria Metalúrgica Nacional** en **Embalse** alcanza casi el **100%** de los **suministros electromecánicos**, tales como
 - **4 generadores de vapor y los tubos para los mismos**
 - **395 tubos de presión y de calandria.**
 - **760 alimentadores para tubos de presión.**
 - **Intercambiadores de calor para el sistema principal del moderador.**
 - **End fitting-channel closure-shield plug.**
 - **Soportes de los alimentadores de canales combustibles.**
 - **Válvulas y bombas.**
 - **Piping y accesorios.**
 - **Tubos de acero inoxidable y tubos para generadores de vapor.**
 - **Precalentadores.**
 - **Servicios de ingeniería y montajes electromecánicos.**



NA-SA

PEV-CNE



PEV EMBALSE: FASE II

DESARROLLO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICASTECHNICAL, COSTRUCCIÓN DE COMPONENTES Y CONTRATOS PARA MONTAJE

- Desarrollo de especificaciones y contratos para nuevos componentes ASME III C11.
- Identificación y calificación de proveedores locales.
- Calificaciones de pre-producción.
- Fabricación de nuevos componentes (95 % de los componentes del reactor fabricados en Argentina)
- Definición de estrategia y desarrollo de contratos para el montaje electromecánico.
- Desarrollo de la ingeniería de montaje.
- Entrenamiento de personal.
- Construcción de galpones y obradores.
- Desarrollo del cronograma integrado.





NA-SA

PEV-CNE



DATO	CUANTIFICACIÓN
Horas trabajadas en Fase III	23.000.000 h.h
Horas de entrenamiento para el reemplazo del núcleo	364.791 h.h
Personas calificadas para trabajar en zona controlada	4.969
Accesos a zona controlada	1.000.381
Máximo de personas trabajando simultáneamente en el edificio del reactor	724
Permisos de trabajo radiológico generados	10.505
Permisos de trabajo de seguridad convencional generados	9.599
Residuos radiactivos gestionados	1.700 m3
Dosis colectiva total	19,7 Sv-h
Comunicaciones formales con contratistas	20.000
Actividades del cronograma integrado	10.000
Peso de equipos, dispositivos y estructuras movilizados	12.000 Ton
Trozos en los que quedó reducido el núcleo del reactor	600.000
Documentos de ingeniería generados	25.000
Procedimientos de puesta en marcha	1.127
Seguridades operativas generadas	4.500
Participación de mano de obra nacional	96,5%

Programa de Extensión de Vida (PEV) de la Central Nuclear Embalse (continuación)

La conclusión más importante del Programa de Extensión de Vida de la Central Nuclear Embalse es que la fabricación local e instalación de equipos y componentes confirma que Argentina se encuentra en condiciones de construir una central nuclear de potencia de tecnología CANDU, fabricar casi la totalidad de los componentes nucleares y convencionales, con la excepción de la turbina, bombas del primario, y parte del piping.



ADIMRA /Asociación de Industrias Metalúrgicas de la Rep. Arg., 2018, dixit

"El reactor CANDU es la mejor solución tecnológica, industrial y financiera para Argentina debido a la capacidad que tiene el país para diseñar, construir y fabricar sus componentes".

ADIMRA hizo en 2015 un estudio exhaustivo sobre las empresas existentes para participar del “proyecto nacional” CANDU (70 sobre 130). En el PEV hubo 50 empresas.

Informe 2016 Comité de expertos

Cita del resumen ejecutivo del informe de la Comisión Técnica para la Evaluación de Centrales Nucleares.

“En caso de optar por un reactor CANDU, se estaría fortaleciendo la participación local. ... NA-S.A. desempeñaría el rol de arquitecto-ingeniero y, al mismo tiempo, nuestro país preservaría la independencia en lo que respecta al suministro de combustible, dado que Argentina alcanzó el control completo del ciclo del combustible”.

“Al mismo tiempo, tenemos la capacidad de proporcionar localmente los suministros asociados con la isla nuclear hasta un 80-85%. Además, aprovecharíamos los recursos humanos especializados existentes (NA-S.A. ,CNEA, INVAP, IMPSA, CONUAR, entre otros) que participaron en el PEV de Embalse”.



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Estudios de Posgrado



TRABAJO FINAL DE MAestrÍA
CARRERA DE MAestrÍA EN HISTORIA ECONÓMICA
Y DE LAS POLÍTICAS ECONÓMICAS.

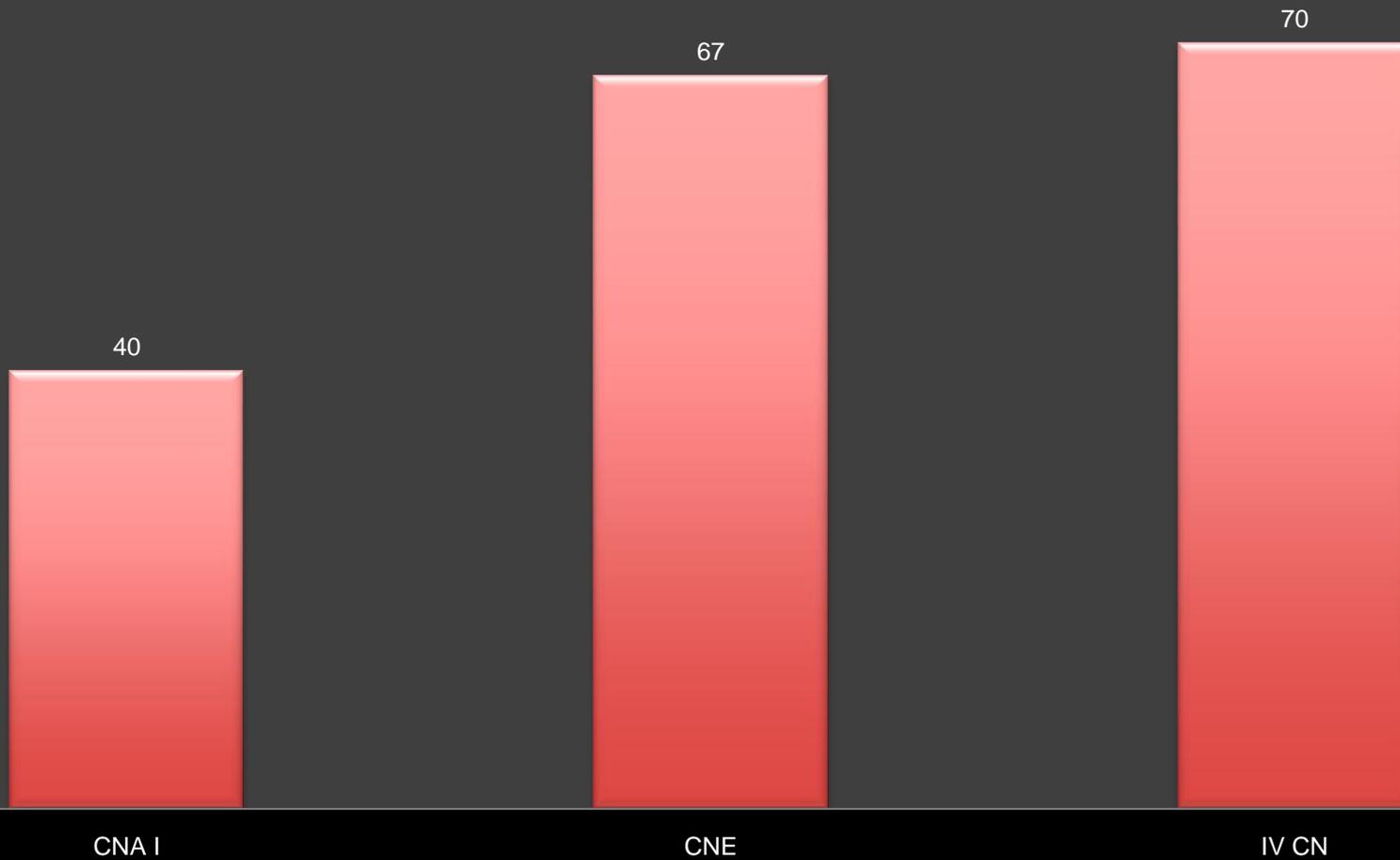
**Política Nuclear Argentina entre 2003 y 2015:
Recuperación del sector nuclear con desarrollo de
industria nacional que reduce el impacto en la restricción
externa.**

Maestrando: Franco Adrián Sacchetta.

Directora TFM: Alicia Beatriz Frigerio.

% Grado de participación nacional en el costo de la obra. Tesis

■ % Grado de participación nacional en el costo de la obra



CONCLUSIONES

- * Se verificó que el impacto en la restricción externa de la industria nuclear argentina como articuladora del sector productivo, científico y tecnológico, puede minimizarse en relación al producido por el crecimiento de otras industrias.
- * Esto puede lograrse porque, a diferencia de otros rubros industriales, la industria nuclear puede producir en el país gran parte de sus componentes, dispone de un área de investigación y desarrollo propio, maneja la mayor parte del ciclo del combustible, y cuenta con una infraestructura acreditada internacionalmente para regular y controlar la seguridad y operación de su actividad.

Diagnóstico/Situación heredada

Durante los últimos 4 años (2016-2019):

- Durante más de dos años (2016-2018) se sostuvo el plan del gobierno de CFK: CANDU+Hualong. Inmediatamente después del **acuerdo con el FMI, el gobierno de Macri anunció la cancelación definitiva de la exitosa tecnología U_{nat} y Agua Pesada.**
- Más de 350 trabajadores altamente calificados fueron “despedidos” de la **PIAP (Planta Industrial de Agua Pesada) (de un total de 450).**
- **Cientos de trabajadores calificados fueron despedidos de NASA, UOCRA+UOM Zarate, Dioxitek, INVAP, CONUAR como consecuencia de una política de desinversión.**
- **En CNEA perdimos alrededor de 500 puestos de trabajo (de 3900) debido a salarios muy bajos, no reemplazo de jubilaciones, falta de carrera profesional y de fondos para proyectos. Becas y escalafones más bajos quedaron por debajo de línea de pobreza. Este problema debe ser atendido con urgencia.**

Impacto en la economía local:
CANDU & Hualong.

Datos de CANDU y Hualong.

	IV CN CANDU	V CN Hualong
Modelo	CANDU 6 mejorado	Hualong One (ref. Fuqing 5)
Potencia Neta (MWe)	685	1065
Factor de Carga (CF)	91%	87%
Costo total del Proyecto (MUSD)	5672	8042
Financiamiento Externo (MUSD) 85%	4821	6836
Financiamiento Local (MUSD) 15%	851	1206
Inversión en moneda extranjera (MUSD)	1702 (30%)	6836 (85%) Dif=5134 DEUDA
Inversión en moneda local (equivalente MUSD)	3970 (70%)	1206(15%) Dif=2764

Impacto en la economía local

Costo Total CANDU: 5672 MUSD.

El 70% de esto son casi 4000MU\$ (en pesos) vertidos en la economía local para reactivar el mercado interno, especialmente a muchas PyMES avanzadas de ingeniería, montaje, metalúrgicas, metalmecánicas, electro mecánicas, electrónicas e informáticas que se prepararon con la terminación de Atucha II y luego con el proyecto de extensión de vida de Embalse.

Costo (overnight) por kWe

- CANDU: $5672 \text{ MU}\$/ (685 \text{ kWex}0.91) = 9099 \text{ U}\$/\text{kWe}$
- Hualong: $8042 \text{ MU}\$/ (1065 \text{ kWex}0.87) = 8680 \text{ U}\$/\text{kWe}$
- La diferencia está en un 5%, que está dentro de la incerteza de las diferentes variables. Y dentro de parámetros del compre nacional.

Costo de combustible

- **Costo de combustible CANDU por año: 21.5 MU\$ (hecho en Argentina)**
- **A igual cantidad de energía producida (que la CANDU) el costo del combustible por año de la Hualong es 41.9 MU\$ (casi el doble del CANDU).**
- **En 30 años la diferencia es de 613 MU\$.**
- **Pero la diferencia fundamental es que el combustible Hualong lo tenemos que importar.**

Impacto Socio-económico del proyecto nacional CANDU

- **Este proyecto maximiza la participación nacional y la mano de obra argentina, dinamiza la actividad del mercado interno (PyMES) y minimiza los gastos en divisas.**
- **Es exactamente lo que necesita nuestro país en este momento.**

Inserción y perspectiva internacional de la tecnología PHWR y de los reactores CANDU (2020)

Actualmente hay **50 (11%) PHWR / CANDU** en uso en todo el mundo, la mayoría de ellos desarrollados a partir del diseño CANDU.

El desglose:

- **Canadá: 19 (extensión de vida). Anuncio de inversión en SMRs CANDU**
- **Corea del Sur: 4**
- **India: 18 activos derivados de CANDU + 1(listo) +3 similares en construcción + 10 planeados. El parlamento indio acaba de ratificar..**
- **Argentina: 3 (+1?)**
- **Rumania: 2 (+2). Cernavoda 3 y 4. Acuerdo EEUU-Rumania (100%).**
- **Pakistán: 1.**
- **China: 2 (+2 planeados NOVEDAD! Acuerdo con Canadá)**
- **EEUU: Desarrollo de nuevo combustible en base a torio.**
- **TOTAL: 50 (+5), 11% de un total de 448 reactores a nivel mundial.**
- **Mercado para PIAP. India no tiene suficiente D₂O hoy para su programa de CANDUs.**

Competitividad económica y auge de la energía nuclear a nivel internacional. Ver “Economía de la energía Nuclear”. World Nuclear Association (Updated March 2020)

Hay 55 centrales en construcción y 155 más planeadas (sobre 450 actuales).

Energía de base vs energía no demandable.

El costo de la energía nuclear es perfectamente competitivo; hay que hablar de costo nivelado (LCOE), es decir amortizado a lo largo de toda la vida útil de una central (hoy 60 años o más).

5-6% de la energía producida en Argentina es de fuente nuclear vs aprox 11% a nivel internacional. Debemos aumentar la proporción en la matriz.

Cambio climático y formas de generación.

Quemado de combustibles fósiles: **gas, petróleo y carbón.** Cambio climático/efecto invernadero.

Consecuencias catastróficas.

Compromisos internacionales. Acuerdo de Paris.

Dato: 1 kg de U_{natural} entrega la misma energía que 60.000 kg= 60 tn de carbón y sin emisión.

Formas sustentables de generación futuras:

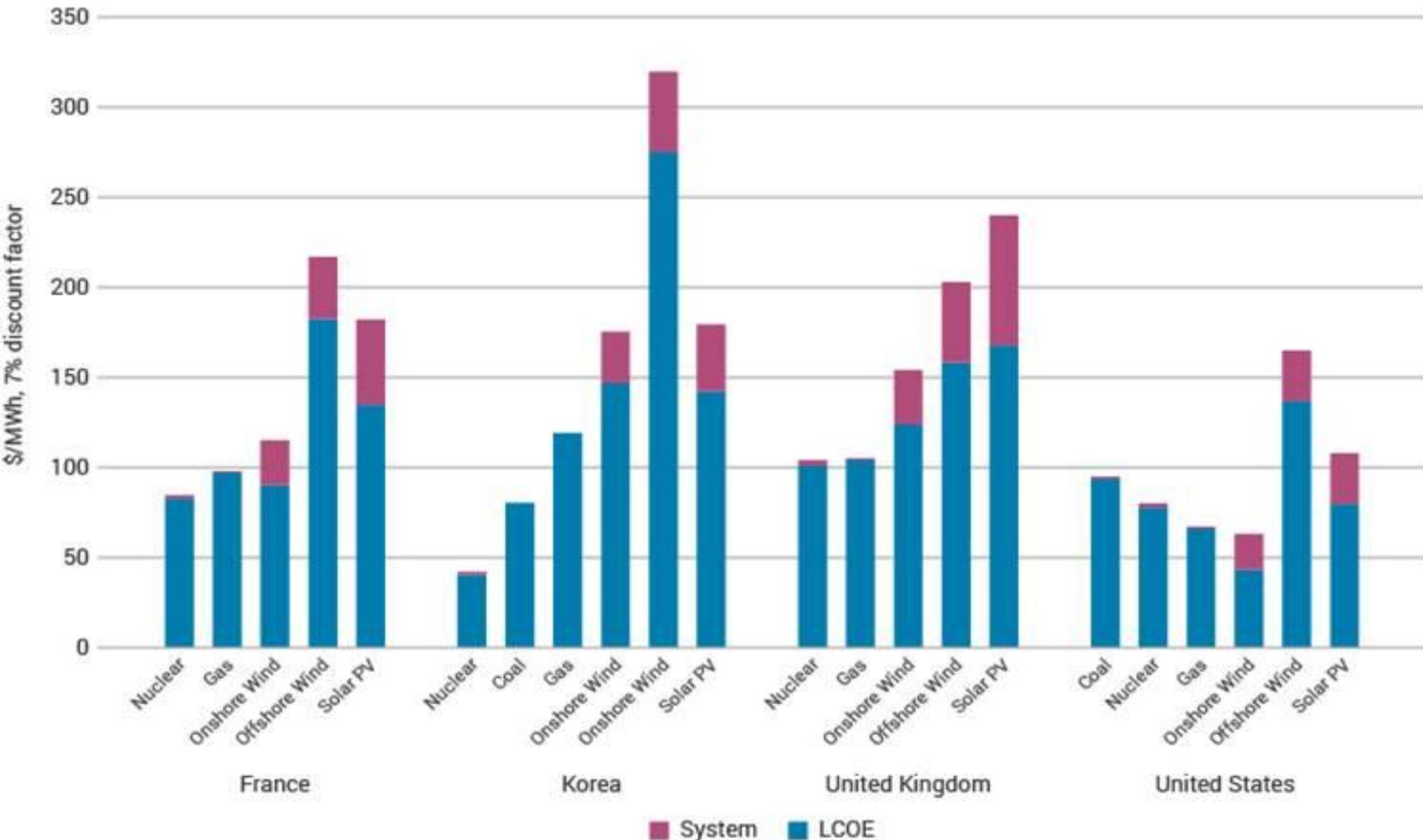
Energía de base: Nuclear.

Hidroeléctricas

Renovables: Solar y eólica.

Comparativa entre costos nivelados (LCOEs) en varios países

Ver: <https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>



Factores de carga de diferentes fuentes (China)

2018 CHINA					
	POTENCIA INSTALADA	GENERACIÓN ANUAL	GENERACIÓN ANUAL	FACTOR DE CAPACIDAD	
FUENTE		MAXIMO TEORICO	REAL		
	MW	GWh	GWh		
TERMICA	1.144.080	10.022.141	4.924.900	0,49	
HIDRAULICA	352.590	3.088.688	1.232.100	0,40	
NUCLEAR	40.240	352.502	295.000	0,84	
EOLICA	184.270	1.614.205	315.800	0,20	
SOLAR	174.330	1.527.131	176.900	0,12	
TOTAL	1.895.510		6.944.700		

	POTENCIA INSTALADA	GENERACIÓN ANUAL	COSTO UNITARIO	INVERSION TOTAL	
FUENTE		A IGUALAR			
	MW	GWh/año	U\$\$/kW	MMU\$S	
RENOVABLES					
EOLICA	18.000	31.536	1.600	28.800	
SOLAR	34.000	35.741	1.400	47.600	
TOTAL RENOVABLES	52.000	67.277		76.400	
TOTAL NUCLEAR	9600	67.277	6.000	57.600	

Por lo tanto, se concluye de este análisis que para sustituir 52.000 MW de potencia renovable instalada no hacen falta 44 Centrales Nucleares sino solamente 8 (de 1200 MW c/u) de ellas con una inversión inicial sensiblemente menor (aporte Ing. J.L. Antúnez).

Energía nuclear en la Argentina

- **2014-Plan Nuclear de Centrales: Un reactor CANDU de uranio natural y agua pesada (Proyecto Nacional) y un reactor de Uranio enriquecido y agua liviana (Hualong), ambos proyectos con financiación China**

Energía nuclear en la Argentina

- **2015- Atucha II entra en servicio comercial**
- **2015- Comienzan las tareas del Proyecto Nacional CANDU**

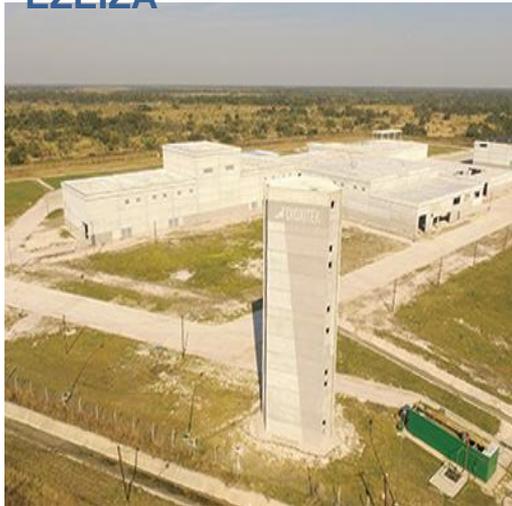
Con qué se contaba para el Proyecto Nacional CANDU

- Propiedad de la tecnología
- Planta de Agua Pesada
- Plantas de fabricación del combustible
- Experiencia de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)
- 30 años de excelente experiencia operativa de Embalse
- NASA Arquitecto Ingeniero de Atucha II y también de la Extensión de Vida de Embalse
- Conjunto de Proveedores y Contratistas calificados

Plantas del ciclo de Combustible Uranio natural agua pesada



**CONUAR
EZEIZA**



**DIOXITEK
FORMOSA**



PIAP NEUQUÉN

Energía nuclear en la Argentina

- 2015- Embalse sale de servicio para realizar las obras de Extensión de Vida (en el 2019 reingresa al servicio). El avance de este Proyecto permite asegurar que el Proyecto Nacional CANDU tendrá un contenido local del orden del 70%
- 2016-2017- Prosigue avanzando el Proyecto Nacional CANDU y la negociación con China por el Proyecto Hualong
- Continúa avanzando el Proyecto CAREM

Energía nuclear en la Argentina

2018- Decisión formal de cancelar el Proyecto Nacional CANDU de Uranio Natural y proseguir únicamente con el Proyecto Hualong de Uranio enriquecido

- La decisión incluyó el cambio de forma de contratación del Proyecto Hualong a “llave en mano” y el rol de NASA pasó a ser exclusivamente el de Propietario y Operador
- Se anuló el pedido de licenciamiento a la ARN para la construcción del Proyecto Nacional CANDU
- Prosiguió avanzando el Proyecto CAREM con restricciones presupuestarias

Centrales Nucleares en la Argentina - Panorama 2020

- **Continúan las negociaciones con China por el Proyecto Hualong**
- **Supuesta antinomia entre el Proyecto Hualong y el Proyecto Nacional**
- **La Planta de Agua pesada corre riesgo de daños irreversibles por falta de preservación adecuada**
- **El Proyecto CAREM sigue vigente**

Comentarios Finales

- La envergadura e impacto socio-económico de la actividad nuclear justifican la continuidad del esfuerzo.
- Tenemos que volver al plan de 2014/15 modificado: Si geopolíticamente fuese conveniente comprar una central Hualong, iniciar el proyecto nacional CANDU en paralelo empezando por la fabricación de las partes para salvar a la industria nuclear nacional y a medida que se libera mano de obra de la Hualong comenzar con la obra civil de la CANDU.
- El monto del crédito extranjero debe/puede ser minimizado. CANDU se puede hacer hasta en un ~ 70% en moneda local y el resto podría ser proporcionado por la R.P. de China.

La Propuesta para cambiar este Panorama 2020

- **Junto con el Ing. José Luis Antúnez y el Dr. Gabriel Barceló hemos presentado una propuesta destinada a preservar nuestra tecnología de Uranio Natural y Agua Pesada, que es la que nos ha dado la capacidad autónoma y soberana de producir energía eléctrica de origen nuclear.**
- **Esta Propuesta consiste esencialmente en:**
 - **Anular la Decisión 2018 de cancelación del Proyecto Nacional**
 - **Preservar adecuadamente la Planta de Agua Pesada**
 - **Recuperar la ingeniería del Proyecto Nacional y comenzar con la fabricación de los componentes locales en la medida de las posibilidades financieras**

Bibliografía

- **PRESENTACION del Ing. R. Bernal Castro en el Centro Argentino de Ingenieros, 3-10-2018.**
- **JORNADAS SOBRE ENERGÍA NUCLEAR EN ARGENTINA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO**
R. Sainz, G. Diaz, P. Luna, Nucleoeléctrica Argentina S.A., San Carlos de Bariloche, Junio 12-13, 2019
- **PRESENTACION de Andrés J. Kreiner en COPIME, 07-09-2020.**
<https://www.youtube.com/watch?v=RokUnsJVH5o>
- **PRESENTACIÓN del Ing. José Luis Antúnez en COPIME, 19-10-2020.**
<https://www.youtube.com/watch?v=iVc321o5-Gg>
- **PRESENTACIÓN del Ing. José Luis Antúnez en Instituto de Nanociencia y Nanotecnología, CNEA, 29-10-20,**
- **Franco A. Sacchetta, Trabajo final de Maestría, FCE, UBA, 2020.**
- **Nuevo combustible con torio para CANDU: https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2020/09/22/aneel-a-game-changing-nuclear-fuel/amp/#referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=De%20%251%24s**
- **Competitividad de la energía nuclear: <https://www.thebellows.org/we-need-a-nuclear-new-deal-not-a-green-new-deal/>**
- <https://agendarweb.com.ar/2020/08/06/antunez-barcelo-kreiner-no-hay-futuro-en-abandonar-nuestra-historia-nuclear/>
- <https://agendarweb.com.ar/2020/08/24/en-defensa-de-la-tecnologia-nuclear-argentina/>
- **Competitividad de la energía nuclear: <https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>**
- **CANDU Small Modular Reactor: CANDU SMR - SNC-Lavalin. *www.snclavalin.com > brochure***
- **“El gobierno comete un gravísimo error al cancelar la cuarta central nuclear”, A.J. Kreiner, AgendAR, 5-08-2018.**

Bibliografía

- **La destrucción del Programa Nuclear Argentino – 1° parte**, A.J.Kreiner y D. E. Arias, AgendAR, 14-10-2018.
- **La destrucción del Programa Nuclear Argentino – 2a parte**, A.J.Kreiner y D. E. Arias, AgendAR, 15-10-2018.
- **La liquidación del Plan Nuclear Argentino**, A.J.Kreiner y D. E. Arias, AgendAR, 8-12-2018.
- **La liquidación del Plan Nuclear Argentino – 2° parte**, A.J.Kreiner y D. E. Arias, AgendAR, 9-12-2018.
- **La destrucción en cuotas de la planta de Agua Pesada, un patrimonio argentino**, A.J.Kreiner p/APCNEAN, AgendAR, 4 de mayo, 2019.
- **«Una acción de lesa patria»**, A.J.Kreiner y H. Duran por APCNEAN, AgendAR, 23-04-2019.
- **Respuesta de los científicos nucleares argentinos a Julián Gadano**, A.J.Kreiner por APCNEAN, AgendAR, 29-04-2019.
- **“Acusan al gobierno de Macri de la destrucción del Programa Nuclear Argentino”**, AgendAR, 18 de agosto, 2019.
- **La Asociación de Profesionales Nucleares y un llamado al nuevo gobierno**. AgendAR, 9 de diciembre, 2019.
- **“El Futuro de la Tecnología Nuclear, Industria y Energía en Argentina: una visión desde abajo hacia arriba”**, Charla invitada, A.J. Kreiner, NISLA 2019, CABA, 5-12-2019.

Muchas Gracias!