



# El Desarrollo Inclusivo: ciencia-tecnología-pymes estado.

## Los actores del modelo: el sector nuclear (Tecnología CANDU vs Hualong ¿Porqué desde APCNEAN, ATE, etc, insistimos en preservar la línea $D_2O$ y $U_{nat}$ ?)

Andrés J. Kreiner <sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Secretario General de APCNEAN.

<sup>2</sup>CNEA, CONICET, UNSAM.

<sup>3</sup>CyTA - CNEA-UyO – Frente Todxs por CNEA

Curso Instituto Patria, CABA, 28/09/2019.

# Temario

- **Algunos datos de nuestro desarrollo nuclear.**
- **Tipos de Reactores. CANDU, PWR. Innovación.**
- **Impacto sobre la economía local.**
- **Matriz FODA: CANDU y Hualong.**
- **Proyección internacional.**
- **Comentarios finales.**
  
- **Cambio climático y formas de generación.**
- **Logros. Legislación. Diagnóstico actual.**
- **Economía. Competitividad de la energía nuclear.**

# Algunos datos de nuestro des. nuclear

- **3 centrales de potencia PHWR** (Atucha I: 335 MW; II: 692 MW; Embalse **CANDU**: 683 MW) que generan 5-6% de la energía total consumida. Extensión de vida de Embalse.
- **Dominio del ciclo (completo) de elementos combustibles y agua pesada.** Empresas asociadas: CONUAR, Dioxitek, INVAP, ENSI SE (PIAP). Inversión en PIAP: + de 1000 MUSD +.. + 800 M\$ recientes. Necesitamos: D<sub>2</sub>O de reposición: 300 tn. Hoy tenemos 20 tn!! La PIAP no se encuentra operativa, esta siendo abandonada. Se despidieron a más de 300 trabajadores. Vamos a importar Agua Pesada?
- **Exportación de reactores de investigación:** Perú, Argelia, Egipto, Australia (200MU\$S), Arabia S, Holanda,.. D<sub>2</sub>O

# Algunos datos de nuestro des. nuclear

- **Producción del 5% del consumo mundial de  $^{99}\text{Mo}$ , cubriendo las necesidades nacionales y parcialmente regionales y 3er productor mundial de  $^{60}\text{Co}$ . RA-10.**
- **Embalse: 3er productor mundial de  $^{60}\text{Co}$ . Dioxitek**
- **Desarrollo de un reactor de potencia chica (25 MW) para zonas alejadas de la red. Perspectivas de módulos comerciales de 120 MW. CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares).**
- **Centros de medicina nuclear: FUESMEN, FCDN, Roffo, ..**
- **CNEA y el sector. Uno de los conglomerados de I&D más importantes del país, tanto en lo nuclear como perinuclear.**

# Vista del complejo nuclear Atucha



# PIAP, Arroyito Neuquén **en grave riesgo**



# Dos líneas tecnológicas

- **1. Uranio natural**,  $U_{\text{nat}}$  (0.7% de  $^{235}\text{U}$ ) +  $\text{D}_2\text{O}$ .

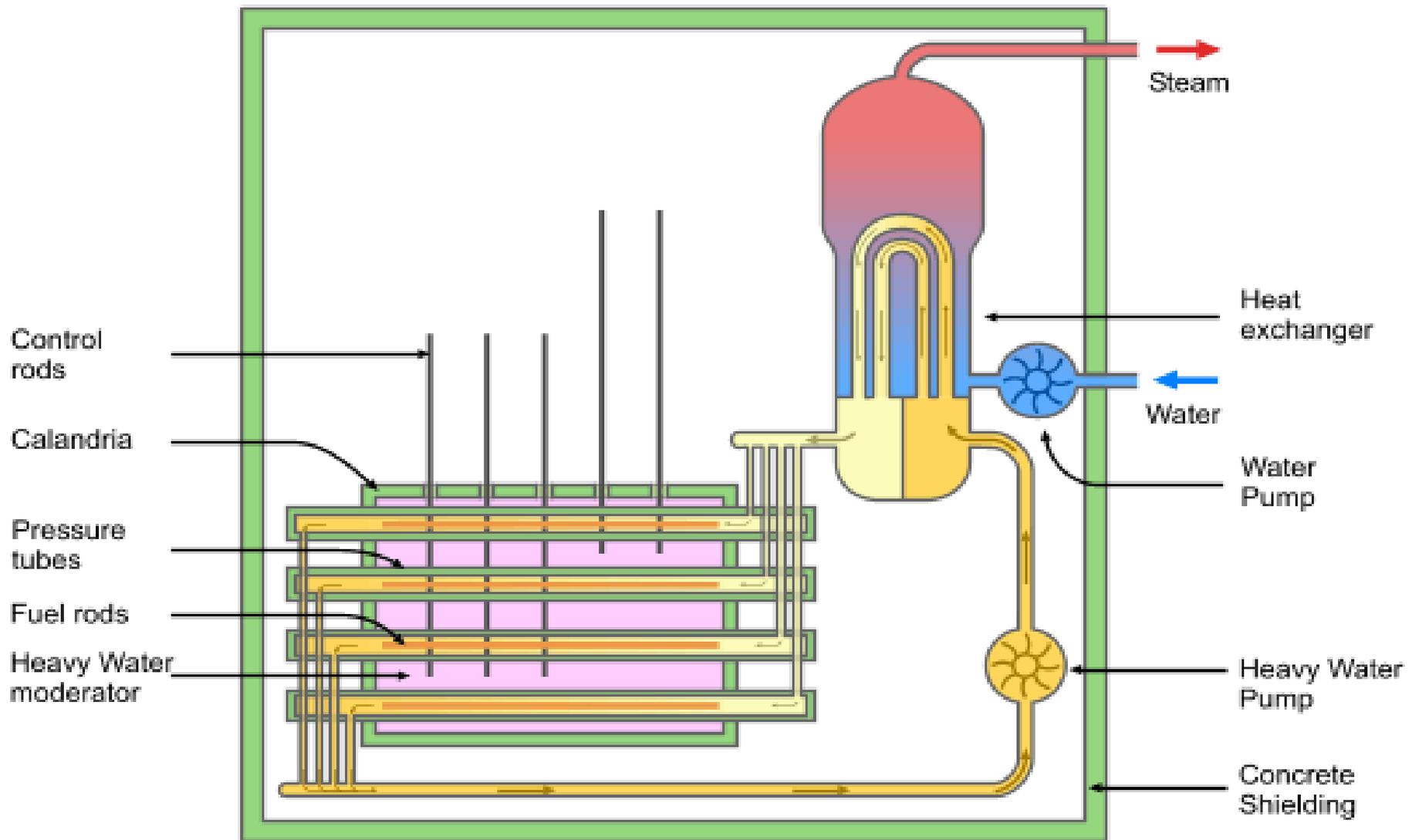
El  $\text{D}_2\text{O}$  modera (frena) los neutrones y los lleva al rango térmico ( $kT(300\text{ K})= 0.025\text{ eV}$ ) donde fisiónan al  $^{235}\text{U}$ . La propiedad decisiva del agua pesada es que prácticamente no absorbe neutrones, con lo cual un reactor con  $U_{\text{nat}}$  puede funcionar. No así con agua liviana  $\text{H}_2\text{O}$ , porque el hidrógeno absorbe mucho más. **CANDU, PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor).**

- **2. Uranio enriquecido**  $U_{\text{enr}}$  (3 a 5% en  $^{235}\text{U}$ ) + agua liviana. Se pierde una cantidad importante de neutrones por absorción en  $\text{H}_2\text{O}$ . **PWR.**

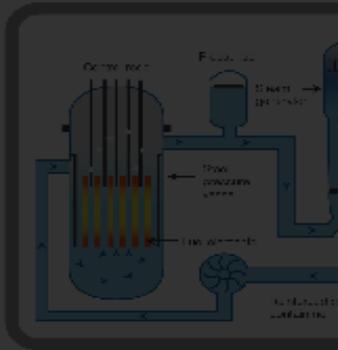
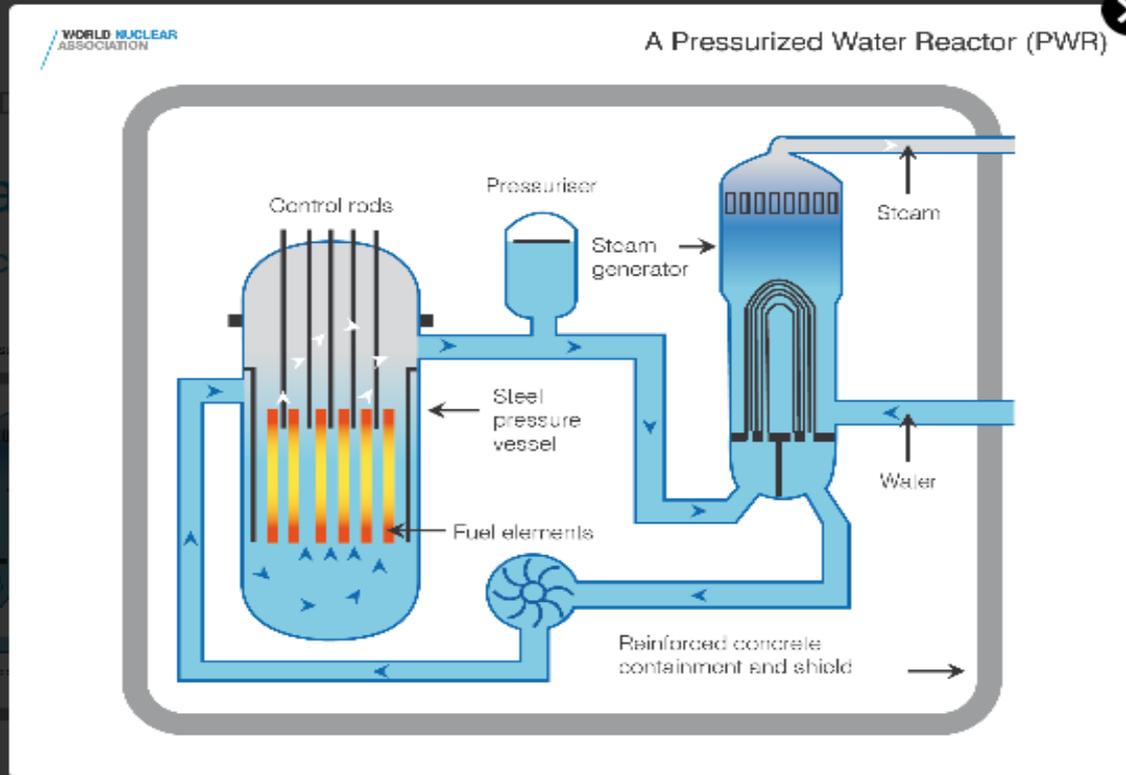
# Tipos de reactores

- **CANDU** (Canadá-Deuterio-Uranio) y **PWR** (Pressurized Water Reactor, LWR-Light Water Reactors), tecnologías complementarias.
- **CANDU: Versatilidad en materia de combustibles.**
- **Innovación tecnológica: Diseños avanzados como EC6, AFCR, AHWR, ACR y reactores reproductores de torio** (posibilidad de combustible ilimitado).
- **Proyección internacional: India (10 CANDUs en construcción/planificación), Corea del Sur, China, Rumania, Canadá (extensión de vida), etc.**

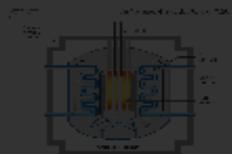
# Reactor CANDU



# Pressurized Water Reactor (PWR)



Pressurized Water Reactor



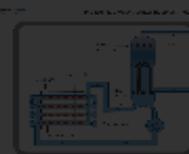
Advanced Gas-cooled Reactor (AGR)



Boiling Water Reactor (BWR)



High Temperature Reactor (HTR)



Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)

# Logros en la década ganada

- **Los logros y consecuencias del relanzamiento del plan nuclear en 2006: Atucha II y extensión de vida de la Central Nuclear de Embalse (CANDU).**
- **3 centrales de agua pesada en operación segura y continua (cerca del 90% de disponibilidad).**
- **Sanción de la ley 26.566 de la IV Central. Acciones en el Congreso.**
- **Pre-acuerdo 2015 con China para la IV CANDU y V PWR.**
- **CAREM y RA-10.**

# Diagnóstico/situación actual

- **En los últimos 4 años:**
- **1. Después de dilatar decisiones durante más de dos años y después del acuerdo con el FMI se anunció la cancelación definitiva de la línea tecnológica de uranio natural y agua pesada.**
- **Se despidieron/indujeron a retiro a unos 300 trabajadores (sobre una planta de 430) de la PIAP.**
- **Se despidieron/suspendieron 100tos de trabajadores de NASA, Dioxitek, INVAP, CNEA, CONUAR como consecuencia de esta política.**
- **En CNEA se perdió un cuarto de su dotación (1000 de 4000) por los bajos salarios, no reposición y falta de carrera laboral y desfinanciamiento de proyectos.**

**Que tenemos y que sabemos hacer?**

# **Fabricación CONUAR/CNEA (PEV)**

- **Componentes Internos y Externos para reactores nucleares de tipo CANDU®**
- **Tapones de Cierre (Channel Closure)**
- **End Fittings y componentes**
- **Insertos para Tubos de Calandria**
- **Tapones de Blindaje (Shield Plugs)**
- **Tubos de Calandria**
- **Tubos de Presión**
- **Alimentadores (Feeders)**
- **Componentes Internos y estructurales para reactores PHWR y reactores de investigación**
- **Pernos de sujeción para soportes laterales de los Generadores de Vapor para reactores tipo CANDU®**
- **Soportes ASME Clase 1, 2 y 3**
- **Soportes estructurales**

## Ver U<sub>238</sub>, año 2012

A las certificaciones **ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 y TWSR** con las que cuenta **CONUAR-FAE** para la producción de los componentes para la extensión de vida de Embalse, debieron adicionarse otras calificaciones, las más exigentes a nivel mundial. Por ello, a las certificaciones preexistentes se agregaron calificaciones canadienses y norteamericanas: **CSA-N285 y ASME III**.

En cuanto a los componentes de este proyecto, **CONUAR-FAE** se encarga de la producción de tubos de Calandria, tubos de presión, end fittings y componentes externos, tapones de cierre, tapones de blindaje y feeders para tubos de Incoloy 800 para los generadores de vapor y tubos de presión. En este último **CNEA** realiza la laminación de este componente en la **PPFAE**, dependiente del Departamento de Tecnología de Aleaciones de Circonio y en **FAE S.A.** se realizan las operaciones de acondicionamiento superficial y todos los controles.

# Que más sabemos hacer/tenemos

- **IMPSA: Intercambiadores de calor**
- **Dioxitek:  $\text{UO}_2$ ,  $^{60}\text{Co}$**
- **PIAP-ENSI:  $\text{D}_2\text{O}$**

# **Impacto sobre la economía local:** **CANDU y Hualong.**

# Impacto en la economía local de infraestructura “tecnológica”

- Retorno de una inversión tecnológica a la  
economía local

**30%** Mano de Obra

**30%** Insumos y componentes nacionales (salarios  
de otras empresas, impuestos, etc.)

**10-15 %** Impuestos

≈

**RETORNO TOTAL** a la economía local: **75%**

Valores típicos para obra pública tecnológica:

<https://youtu.be/bEOHFKhXrNg>

# Datos económicos CANDU y Hualong

	IV CN CANDU	V CN HUALONG
<b>Modelo</b>	<b>Qinshan Phase III CANDU 6 mejorada</b>	<b>Hualong One HPR 1000 (ref. fuqing 5)</b>
<b>Potencia neta (MW)</b>	<b>685</b>	<b>1065</b>
<b>Factor de carga</b>	<b>85-90%</b>	<b>85%</b>
<b>Monto del proyecto (MUSD)</b>	<b>5672</b>	<b>8042</b>
<b>Financiamiento externo (MUSD) 85%</b>	<b>4821</b>	<b>6836</b>
<b>Financiamiento local (MUSD) 15%</b>	<b>851</b>	<b>1206</b>
<b>Costo moneda extranjera (MUSD)</b>	<b>1702 (30%)</b>	<b>6836 (85%), 5629 (70%)</b>
<b>Costo moneda local (equivalente MUSD)</b>	<b>3970 (70%)</b>	<b>1206 (15%), 2413 (30%)</b>

# Impacto en la economía local

Cito del resumen ejecutivo del informe de la Comisión Técnica para la Evaluación de Modelos de Centrales Nucleares (16).

**“En el caso de optar por un reactor CANDU se estaría fortaleciendo la participación local. Sería la 3er vez que NA-S.A. cumpliría el rol de arquitecto-ingeniero , a la vez que el país preservaría la independencia en cuanto al suministro del combustible nuclear dado que la Argentina alcanzó el dominio completo del ciclo de combustible.**

**A su vez, existe la capacidad de obtener los suministros asociados a la isla nuclear localmente hasta un 80-85%. En tal sentido, se realizaría el aprovechamiento de los RRHH especializados (NA-S.A., CNEA, INVAP, TECNA, CONUAR, entre otros) que participan en el PEV de Embalse.”**

# Análisis FODA: CANDU

## Fortalezas:

- 1. Poseemos una amplia experiencia (+ de 30 años) operando este modelo de CN de potencia. Pertenecemos al COG (CANDU Owners Group).**
- 2. Mayor experiencia para su licenciamiento por parte de ARN.**
- 3. Se ha completado el PEV demostrando que podemos gerenciar proyectos complejos. Entre el 80-85% de los componentes de la isla nuclear se fabrican en el país. La participación local: +70%. La industria local tiene todas las certificaciones internacionales (en particular ASME y QA canad.).**

# Análisis FODA: CANDU

- 4. Diseño probado en muchas centrales CANDU 6 en operación en el mundo.**
- 5. Muy buenas características de disponibilidad (85 a 90%). Ningún accidente severo registrado.**
- 6. Los operadores son capacitados localmente.**
- 7. Dominamos la tecnología de todo el frente del ciclo de combustible con uranio natural, lo que permite que los elementos combustibles puedan ser producidos totalmente en el país desde el inicio, sin depender del exterior. (No así la Hualong).**
- 8. Fabricación de combustible local consolidada con costo específico (USD/MWh) menor que en un PWR. Usa aprox. 30% menos Unat por kW-h.**

# Análisis FODA: CANDU

- 9. La propuesta para la IV CN incluye (respecto de Qinshan) una contención más robusta a prueba de impactos externos.**
- 10. Con las modificaciones propuestas se acerca a un EC6 de gen III.**
- 11. Combustible más sencillo de fabricar, maniobrar y almacenar una vez que cumplió su ciclo en el reactor. Dominamos también la tecnología del almacenamiento en seco de este combustible.**
- 12. La PIAP garantiza la provisión local de  $D_2O$ .**
- 13. Posee sistemas dedicados para accidentes severos.**
- 14. Permite cambio de combustible en operación.**

# Análisis FODA: CANDU

## Oportunidades:

- 1. Está prevista la transferencia de la actualización de la tecnología por parte de CANDU Energy, incluyendo patentes, que permitiría a NASA ser autoridad de diseño para el proyecto de futuras centrales CANDU6 que se pudieran construir en el país. Condiciones a negociar.**
- 2. Aprovechar el desarrollo efectuado por la industria nacional para la fabricación de componentes nucleares (PEV Embalse). Amortizar inversiones realizadas.**
- 3. Aumentar la escala de producción de componentes nucleares (recordar 80-85% de comp. de isla nuclear).**
- 4. Aprovechamiento de los RRHH especializados formados (NASA, CNEA, CONUAR, INVAP, Pymes,..) en el PEV.**

# Análisis FODA: CANDU

## Oportunidades:

4. Bajar costos de mantenimiento al unificar stocks.
5. Bajar el costo del combustible al utilizar el mismo en Embalse y en la IV CN.
6. Consolidar la exportación de componentes CANDU al exterior. Idem para el D2O.
7. El CANDU 6 permite expandir el mercado de exportación de fuentes de cobalto 60 y otros radioisótopos.
8. La construcción de una nueva central CANDU con alta participación nacional generará mejores condiciones para los futuros desarrollos de CAREM.
9. El país contaría con la posibilidad de construir centrales de potencia modulares y de mayor potencia (CANDU6) en forma totalmente autónoma.
10. Amplias oportunidades de innovación (EC6, AF6R, AHWR, reactores reproductores en base Torio). Gran versatilidad de combustibles.
11. El D es un componente esencial de la probable fuente inagotable y limpia de energía: la fusión termonuclear.

# Análisis FODA: CANDU

## Debilidades:

- 1. Se habla del tritio que se produce en una central de agua pesada, pero es un emisor beta de bajísima energía (0.02 keV). Con un traje adecuado no hay ninguna carga de radioactividad. Además el tritio tiene importantes aplicaciones y su producto de decaimiento, el  $^3\text{He}$  es sumamente útil y muy valioso. Habría que implementar su recuperación. Esto sería más que debilidad una oportunidad.**
- 2. Coeficiente de vacío positivo. Este tema es muy relevante en un PWR o BWR (con un solo recipiente a alta presión) pero no en un CANDU, donde el núcleo está distribuido en muchos tubos de presión separados entre sí, lo que hace que la posibilidad de una fusión masiva sea físicamente extremadamente improbable.**

# Análisis FODA: CANDU

## Amenazas:

- 1. Varias de las mejoras relacionadas con la seguridad respecto de la central de referencia (Qinshan) serían probadas por primera vez en la IV CN.**
- 2. Los cambios propuestos al diseño implican trabajos de ingeniería que podrían producir demoras en la ejecución del proyecto.**

**CONFIAMOS EN QUE ESTOS DESAFÍOS SERÁN RESUELTOS SATISFACTORIAMENTE POR PERSONAL QUE PUDO TERMINAR ATUCHA II Y LA EXTENSIÓN DE VIDA DE EMBALSE.**

# Impacto económico-social de la CANDU

- **Es el proyecto que maximiza el trabajo argentino (mano de obra directa e indirecta) y el movimiento económico interno y minimiza la erogación en divisas.**
- **Favorece la reactivación y la creación de empleo. Es exactamente lo que necesita nuestro país en esta coyuntura.**

# ADIMRA /Asociación de Industriales Metalúrgicos de la RA, 2018, dixit

**El reactor CANDU es la mejor solución tecnológica, industrial y financiera para Argentina por la capacidad que el país posee para diseñar, construir y fabricar sus componentes.**

**ADIMRA ha hecho un estudio detallado de las capacidades industriales locales y ha identificado unas 80 PyMES “tecnológicas” calificadas para participar en el desarrollo de una CANDU.**

# Análisis FODA: Hualong

## Fortalezas:

- 1. Proyecto llave en mano, se transfiere el riesgo de construcción (demoras, sobrecostos) al contratista. Esta fortaleza es a su vez la mayor debilidad porque implica la menor participación local.**
- 2. Adiciona sistemas de seguridad pasivos con autonomía de 72 horas.**
- 3. Coeficientes de vacío, temperatura y potencia negativos.**
- 4. Posee sistemas dedicados para accidentes severos.**
- 5. Tiene doble contención de hormigón armado.**

# Análisis FODA: Hualong

## Oportunidades:

1. Aprendizaje de nuevas técnicas de construcción y modularización. Incrementa conocimiento en reactores PWR. Existe una propuesta de transferencia de tecnología que no está valorizada (debilidad).
2. Profundizar el conocimiento en PWRs podría ser útil para el CAREM (que ya está diseñado y mientras existan las empresas del PEV Embalse que serían quienes podrían hacer el CAREM).
3. Permitiría incorporar gradualmente tecnología para la fabricación de combustibles PWR.

# Análisis FODA: Hualong

## Debilidades:

1. Menor experiencia para su licenciamiento por parte de ARN.
2. Mayor costo de capacitación de personal.
3. Menor participación de la industria nacional en la fabricación de componentes de la isla nuclear. No tenemos ni la tecnología ni la calificación. Esto no se puede lograr en el corto plazo y quedará al arbitrio de China como constructor.
4. Requiere  $U_{\text{enriquecido}}$  importado (no tenemos; dep. tecnológica).
5. Actualmente no se producen los combustibles localmente.
6. No hay transferencia de tecnología acordada.
7. Actualmente no hay ningún reactor HPR1000 en operación.
8. Elemento combustible todavía no probado comercialmente.
9. Combustible más complicado de fabricar, maniobrar y almacenar una vez quemado cuya tecnología no dominamos.

# Análisis FODA: Hualong

## **Amenazas:**

- 1. Incertidumbre por el posible impacto sobre el proyecto, resultante de las pruebas a ser realizadas en las centrales chinas que aún no han entrado en operación.**
- 2. Primer proyecto de exportación de China en occidente. Posibilidades de interferencia por la guerra comercial entre China y EEUU.**
- 3. Crece el riesgo de dependencia tecnológica con los países centrales, lo que implica un retroceso en la soberanía energética.**

# Inserción y perspectivas internacionales de tecnología PHWR y reactores CANDU (2019)

Hoy hay **49 (11%) PHWR/CANDU** en uso alrededor del mundo, buena parte desarrollados a partir del diseño CANDU.

El desglose es:

- **Canada: 19 (extensión de vida).**
- **Corea del Sur: 4.**
- **China: 2 (+...).**
- **India: 18 activos derivados de CANDU, y 4 CANDU-derivados en construcción + 6 planificados.**
- **Argentina: 3 (+1?)**
- **Rumania: 2 (+2).**
- **Pakistan: 1.**
- **TOTAL: 49 (+6), 11% del total de 448 reactores a nivel mundial.**
- **En construcción: 50 totales, 6 PHWR/CANDU, 12%. Hay mercado para la PIAP y para esta tecnología.**

# Estado actual de la tecnología y posibilidades de innovación.

- **CANDU y PWR** son tecnologías complementarias. CANDU puede quemar combustible descargado de PWR (4000 MWe alimentan a un CANDU de 1000 MWe). Por esto China va a seguir produciendo CANDUs.
- **Versatilidad en materia de combustibles.**
- **Innovación tecnológica:** Diseños avanzados como EC6, AFCR, AHWR, ACR y **reactores reproductores de torio** (posibilidad de combustible ilimitado).

# Contexto en el cual estamos tirando por la borda más de 50 años de experiencia e inversiones.

- Apertura (indiscriminada) de importaciones.
- Cierre y capacidad ociosa de PyMES (y no tan PyMES): desindustrialización, pérdida de puestos de trabajo, aumento de la desocupación, pérdida de la capacidad de compra.
- Si todo se importa (porque es más barato) con qué lo vamos a pagar y de qué vamos a vivir?
- Falta de divisas. Sustitución de importaciones, reindustrialización. Impulso a actividades en línea.

## Comentarios finales

- Sin falta tenemos que volver al plan (2015) de hacer primero una CANDU (o varias) y luego diferida en el tiempo eventualmente avanzar con una PWR (tiempo en que la industria nuclear podría ir desarrollando lo necesario para la tecnología de  $U_{enr}$ ). Esto en la medida que sea imprescindible tomar el crédito chino.
- Ya deberíamos estar construyendo la IV CANDU (ATUCHA III). La línea CANDU debe perdurar.

## Comentarios finales

- Lo que **diferencia fundamentalmente** a un **país subdesarrollado** de uno **desarrollado** es que el segundo tiene la capacidad de hacer y el primero no. **Poder materializar las cosas hace la diferencia. Tenemos que maximizar esta capacidad preservando lo que tenemos.**
- **Nosotros sabemos hacer CANDUs y el PWR chino vendrá llave en mano, y nuestra participación va a ser mínima.**
- **Una Hualong, a como de lugar, es la continuidad de la política del gobierno depredador de Macri y Gadano.**

**GRACIAS!**