

“Materias Primas y Materiales Derivados Utilizados en el Ciclo del Combustible Nuclear en la Argentina”

***CARRERA: ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES
Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE***

Alumno: Ing. María Victoria Nuñez
Director: Geólogo MSc. Luis López

Noviembre 2017



Índice

1	Capítulo 1.....	5
1.1	Introducción [1]	5
1.2	Antecedentes [1]	7
1.3	Objetivo	8
2	Recursos para el Combustible Nuclear	9
2.1	Recursos Nacionales [1][3]	9
2.1.1	Depósito Cerro Solo [3]	10
2.1.2	Depósito de Sierra Pintada [3]	10
2.1.3	Proyecto Laguna Salada [3]	10
2.1.4	Proyecto Meseta Central [3]	11
2.1.5	Depósito Don Otto [3]	11
2.1.6	Laguna Colorada [3]	11
3	Capítulo 3.....	12
3.1	Requerimiento de Uranio	12
3.1.1	Datos Proporcionados por la Subgerencia de Planificación Energética CNEA	12
3.1.2	Calculadoras del Proyecto WISE [4]	13
3.1.3	Cálculo Analítico para el Flujo de Masa para el Ciclo de Combustible Abierto. Comparación de Resultados	15
3.1.4	Requerimiento de Uranio Natural en la Mina	18
3.1.5	Requerimiento de uranio en la planta de conversión	23
4	Capítulo 4.....	26
4.1	Mercado de Uranio	26
4.1.1	Políticas de uranio, stocks de uranio y precios del uranio [17]	26
5	Capítulo 5.....	29
5.1	Evaluación Económica.....	29
6	Capítulo 6.....	31
6.1	Provisión de Uranio.....	31
6.1.1	Importación de Canadá, Kazajstán [17]	31
6.1.2	Perspectivas de Importación del Paraguay y Brasil	31
6.2	Brasil[13][14][15]	33
6.2.1	Principales proyectos para 2018 y 2019 [15]	33
6.2.2	Futuros proyectos [15]	34
6.3	Producción Local [3]	34
7	Capítulo 7.....	36
7.1	Transporte	36
7.1.1	Trayectos	36
7.1.2	Transporte de UOC y UO2 [47] [50] [53]	51
8	Conclusiones.....	58

9	Referencias.....	60
10	Anexo 1[3][5]	63
10.1	Clasificación Marco de las Naciones Unidas (CMNU – “UNFC”).....	63
10.1.1	Clases	64
10.2	Esquema Clasificadorio NEA/IAEA[6]	66
10.2.1	Recursos Razonablemente Asegurados (RAR).....	66
10.2.2	Recursos Inferidos (IR)	66
10.2.3	Recursos Pronosticados (PR)	66
10.2.4	Recursos Especulativos (SR).....	67
10.3	Status de Producción de los Recursos.....	67
10.3.1	Tipos de Centros de Producción y Recursos Asociados	67
11	Anexo 2	68
12	Anexo 3	70
12.1	Marco Legal	70
12.1.1	Marco Legal de la Actividad Minera del Uranio.....	70
12.1.2	Marco Legal de Transporte de Material Radiactivo:	70
12.1.3	Marco Legal de Instalaciones Industriales de Uranio	73

Dedicatoria:

A Dios y mis padres Liliana y Hugo que están y permanecen en cada instante de mi vida

Abstract

A scenario of six power plants was proposed for the period 2017 - 2035 considering the years of operation projected for each of them plant. This hypothesis considered that this nuclear capacity would not grow after 2035 and that life extensions of "Candú 6" and Atucha II will be operated.

Under those conditions, the available identified uranium resources of about 31.060 tU (NEA-OECD/ IAEA Red Book) would be sufficient to cover the domestic demand until 2104. This reveals that exploration work should continue if one wishes to opt for self-supply or evaluate the possibility of making agreements with Paraguay or Brazil, which due to the proximity to New UO2 Plant (NPUO2), located in the province of Formosa, that would be an interesting alternative from the economic point of view.

From the scenario presented, the demand for UO2 for the manufacture of fuel elements was also evaluated and compared with what was estimated to be produced by the NPUO2. The results obtained allow inferring that the years in which the plant has a surplus, will be sufficient to supply the years of greatest demand in the time interval 2017 - 2035 and evaluate the expansion of the production of the plant.

It was given special consideration to the transportation of raw material, from the possible productive centres as Cerro Solo and Sierra Pintada uranium deposits, or overseas, to the New UO2 Plant, located in the province of Formosa. It was concluded that the multimodal transport –terrestrial, fluvial, marine- constitutes the best option in terms of security and efficiency.

The calculation of material involved and economic parameters carried out for this case study, can be recreated using other vales for the different variables according to other scenarios that could be formulated in the future.

Resumen

Se propuso un escenario de seis centrales de potencia, para el período 2017 – 2035 considerando los años de operación proyectados para cada una de ellas. Esta hipótesis contempló que el parque nuclear propuesto no creciera en los años posteriores al 2035, y que se extendiera la vida útil de las centrales Candú 6 y Atucha II.

En esas condiciones, los recursos de uranio identificados disponibles de 31060 tU (NEA-OECD/ OIEA) serían suficientes para cubrir la demanda interna hasta 2104. Esto revela que el trabajo de exploración debería continuar si se desea optar por autoabastecimiento, o evaluar la posibilidad de realizar convenios de provisión con Paraguay o Brasil, que debido a la proximidad a la Nueva Planta de UO2 (NPUO2), ubicada en la provincia de Formosa, sería una alternativa interesante desde el punto de vista económico.

A partir del escenario presentado, también se evaluó la demanda de UO2 para la fabricación de elementos combustibles y se la comparó con lo que se estima que produciría la NPUO2. Los resultados obtenidos permiten inferir que los años en que la planta tenga excedente, serían suficientes para abastecer los años de mayor demanda en el intervalo de tiempo 2017 – 2035.

Se dio especial atención al transporte de materia prima, desde las posibles áreas productivas de concentrados de uranio como los depósitos Cerro Solo y Sierra Pintada, o desde el exterior, hasta la Nueva Planta de UO2 (NPUO2) en Formosa. Se concluyó que el transporte multimodal – terrestre, fluvial, marítimo- representaría la mejor opción en términos de seguridad y eficiencia.

Los cálculos de materiales y económicos realizados para este estudio de caso, pueden ser recreados para otros valores que puedan tomar las diferentes variables de proceso en otros escenarios alternativos.

1 Capítulo 1

1.1 Introducción [1]

Entre 1952 y 1997 la Argentina produjo cerca de 2600 tU, del mineral extraído de diferentes sitios distribuidos en todo el territorio nacional (Figura N° 1). A partir de 1982 la Planta industrial de Dioxitek S.A, ubicada en la provincia de Córdoba, es la encargada de recibir el concentrado de óxidos de uranio (UOC) proveniente de las minas, procesarlo para convertirlo en dióxido de uranio y posteriormente enviarlo a Ezeiza, provincia de Buenos Aires, para que se fabrique el combustible de las centrales de Atucha I y Embalse.

Sin embargo el ciclo combustible nuclear argentino debió afrontar modificaciones que han surgido desde que se decidió implementarlo, como ser el futuro traslado de Dioxitek S.A. desde la provincia de Córdoba a la provincia de Formosa. Las razones de este traslado se sustentan en la ordenanza N° 8133 (1985) de uso de suelo, que prohíbe que una planta de éstas características esté ubicada en un barrio categoría 2 [24], por lo que desde 1985 el municipio de Córdoba solicitó en diferentes oportunidades su traslado. Recientemente, en enero de 2017 se firma un nuevo acuerdo en el que se manifiesta que la planta debe cerrar en diciembre del 2018. Es por ello que Dioxitek lleva adelante el Proyecto Nueva Planta Procesadora de Dióxido de Uranio (NPUO2), en la **provincia de Formosa**, esta tendrá capacidad para producir 460 tUO2/año.

Otra alteración significativa que sufrió el ciclo combustible argentino fue a finales de la década de los noventa cuando la caída del precio del uranio hizo que la producción nacional dejara de ser competitiva y se tomó la decisión de importar uranio y de poner en stand by el Complejo Minero Fabril San Rafael, ubicado en la provincia de Mendoza, único centro productivo por ese entonces. No obstante, en los últimos años la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) revisó sus planes y consideró la alternativa de la producción local de UOC. Estos cambios responden principalmente a las incertidumbres en futuros abastecimientos externos (importaciones) y el aumento de las necesidades de uranio nacional a 265 tU/año con la puesta en operación del reactor Atucha II. Además, el compromiso de adición de dos nuevas centrales nucleares y el desarrollo del nuevo reactor CAREM 25 que en el mediano plazo aumentarán significativamente las necesidades nacionales de uranio.

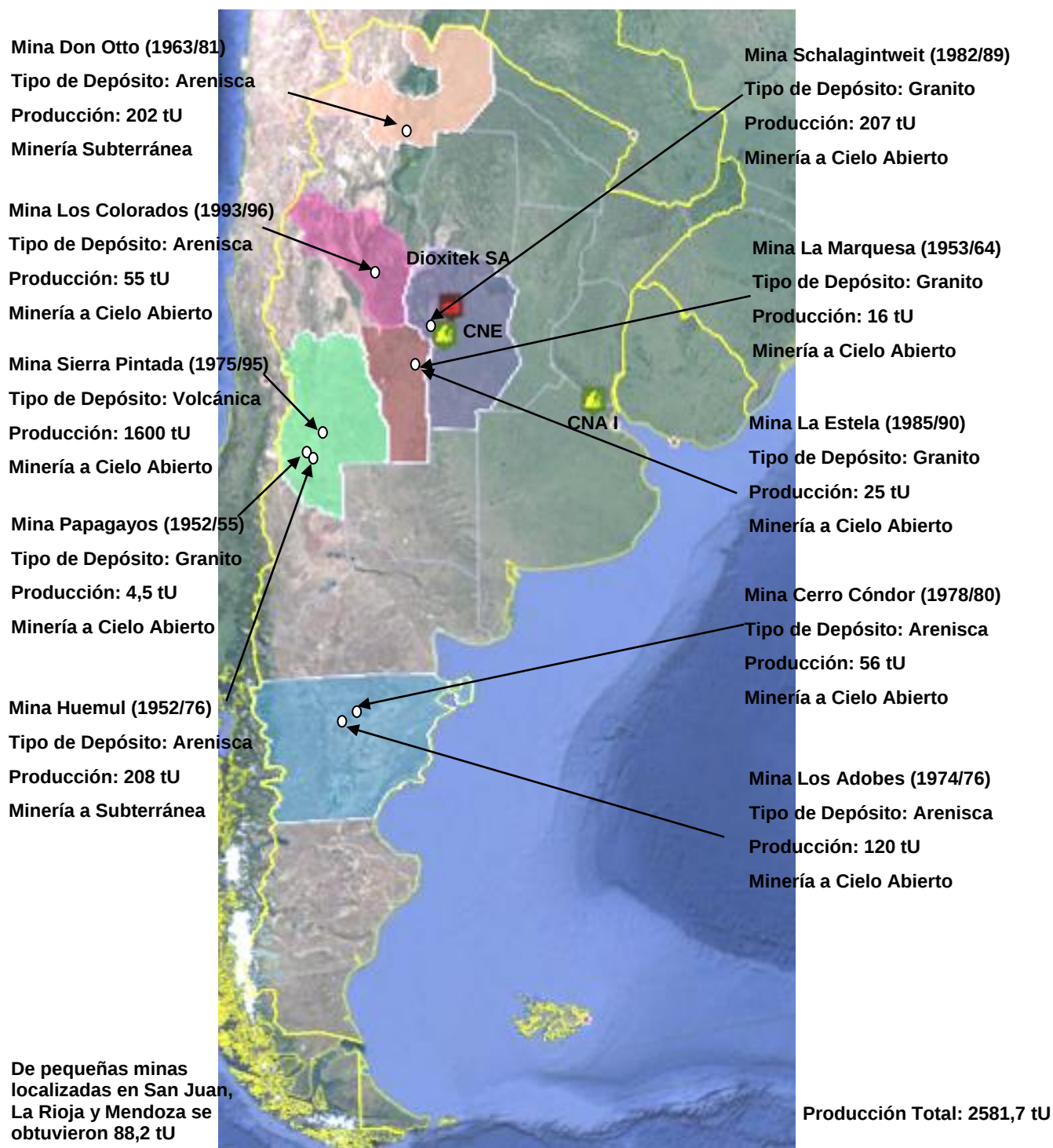


Figura N° 1: Producción de Uranio (1952 – 1997)

1.2 Antecedentes [1]

Las actividades de exploración de uranio en Argentina comenzaron en 1951-1952, llevando al descubrimiento de los yacimientos de Papagayos, Huemul, Don Otto y Los Berthos. A fines de los cincuenta y principios de los sesenta, las prospecciones aéreas condujeron al descubrimiento del depósito de uranio en arenisca Los Adobes en la Patagonia. Durante los años sesenta, se descubrieron los yacimientos tipo granito de Schlagintweit y La Estela y dos nuevos depósitos en arenisca, Cerro Cóndor y Cerro Solo.

En 1990, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) seleccionó el depósito de uranio-molibdeno tipo arenisca Cerro Solo para realizar un proyecto minero, basado en sus prometedoras leyes y tonelajes. Las capas mineralizadas se distribuyen en conglomerados y areniscas fluviales pertenecientes al Grupo Cretáceo Chubut, a profundidades de 50 a 130 m. (Tabla 1)

En consecuencia, se desarrolló un programa intensivo de exploración para: definir las principales características morfológicas y el modelo de mineralización, actualizar los recursos estimados, seleccionar métodos eventuales de minería y procesamiento y realizar la evaluación económica preliminar del proyecto.

Los resultados comprendieron la localización y evaluación parcial de cuerpos mineralizados específicos con un contenido recuperable de recursos de uranio estimados en **4600 tU**, incluyendo **recursos razonablemente asegurados y recursos inferidos**.

Estos resultados permitieron definir un estudio de **prefactibilidad** sobre este depósito U-Mo que fue realizado en cooperación con la compañía NAC International.

El plan estratégico presentado por la CNEA incluye el desarrollo de un nuevo centro de producción en la provincia de Chubut, en las cercanías del yacimiento Cerro Solo. La capacidad nominal de producción se estima en 200 tU/año.

Desde 2007 a 2014, se han perforado un total de 44469 m en las principales áreas mineralizadas del distrito Cerro Solo, incluyendo 4030 m testigados que se han muestreado para realizar análisis hidrometalúrgicos. A diciembre de 2014, los recursos de uranio identificados in situ estaban evaluados en 9230 tU.

Recientemente, se han realizado ensayos a escala de laboratorio para determinar el proceso de procesamiento económicamente más competitivo. Dado que el mineral no contiene solo uranio sino también molibdeno, encontrar un proceso apropiado y factible es motivo de investigaciones más profundas.

Además de consideraciones técnicas, la ley provincial de Chubut (5001/03) que prohíbe la minería a cielo abierto sigue en efecto. Sin embargo, Chubut podría considerar la zonificación del territorio provincial definiendo áreas para la actividad minera.

En la provincia de Chubut también es de interés el sitio de uranio de Sierra Cuadrada, situado en la parte suroriental de la provincia, donde al menos se han reconocido cuatro áreas mineralizadas con uranio.

Las empresas Meseta Exploraciones S. A. (MEXSA) y Sophia Energy S.A emprendieron exploración de uranio en el sur de Provincia de Chubut y en el sector norte de la provincia de Santa Cruz, donde la exploración se centró en anomalías superficiales de baja ley de uranio, definidas como un depósito de tipo calcrete.

En el informe técnico del proyecto Laguna Salada de MEXSA, empresa subsidiaria de U3O8 Corporation, informó recursos identificados de uranio de 3880 tU.

La empresa, Ur-America Ltd, emprendió un programa de exploración subterránea intensiva de aproximadamente 24000m, distribuidos en 250 pozos, en áreas vecinas al yacimiento Cerro Solo. Fueron informados al respecto, 7350 tU como recursos inferidos.

En lo que hace a la producción, en 2004 la CNEA evaluó la posibilidad de reabrir el complejo minero fabril San Rafael (Mina Sierra Pintada), para lo cual preparó y presentó las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), según la ley provincial 5961, ante las autoridades provinciales y la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN). Tabla 1)

La primera EIA (2004) fue rechazada por las autoridades provinciales, argumentando que la CNEA debía primero remediar el agua de la minería a cielo abierto y los residuos de procesamiento antes de reiniciar la producción. La segunda EIA (2006) fue rechazada por carecer de la audiencia pública estatutaria. Además en 2007 fue promulgada la Ley Provincial 7722 que prohíbe el uso de ácido sulfúrico, entre otras sustancias tóxicas, en las actividades mineras, lo que aumenta la dificultad de la reapertura de la planta.

Actualmente, la CNEA está llevando a cabo la construcción de piletas de evaporación, la ingeniería básica del tratamiento simultáneo del agua de la minería a cielo abierto y el procesamiento de residuos almacenados en el complejo de San Rafael.

	Centro #1	Centro #2
Nombre del Centro de Producción	Mina San Rafael - complejo de molienda	Depósito Cerro solo
Clasificación del Centro de Producción	Stand-by	planificado
Fecha de la Primera Producción	1976	N/A
Fuente de Mineral		
Nombre del Depósito	Sierra Pintada	Cerro Solo
Tipo de Depósito	Volcánico - Sinsedimentario	Arenisca - Paleocanal
Recursos Renovables [tU]	6000	N/A
Grado [%]	0,107	N/A
Operación de Minería		
Tipo (OP/UG/ISL)	OP	OP-UG
Cantidad [t de mineral/ día]	550	N/A
Recuperación Media de Minería [%]	90	N/A
Planta de Procesamiento		
Ácida/Alcalina	Ácida	Ácida
Tipo (IX/SX)	IX	SX
Proceso de Recuperación Media (%)	78	N/A
Capacidad de Producción Nominal (tU/año)	150	200
Planes de Expansión	Sí	N/A
Otras Observaciones	Stand-by desde 1997	Nivel - Preliminar (Prefactibilidad)

Fuente: OECD NEA (2016) Uranium 2016: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency

Tabla 1: Detalles técnicos de Centro de Producción de Uranio (a partir del 01/01/2015) [1]

1.3 Objetivo

El objetivo que se persigue en este trabajo es estimar la demanda interna de uranio a partir plantear un escenario hipotético de seis centrales nucleares de potencia funcionando durante el periodo 2017-2035, para lo que se toma en consideración:

- Los años de operación de cada central.
- Enriquecimiento del combustible fresco.
- Quemado del combustible.
- Eficiencia térmica de la central.
- Generación eléctrica hora

Se evalúa si los recursos de uranio son suficientes para abastecer la demanda estimada en el escenario propuesto, y además, tomando en cuenta el precio internacional del concentrado de uranio, su conversión y enriquecimiento se realiza una comparación aproximada del costo de producir en el país con los costos de importación.

También se da especial atención al transporte de materia prima, sea desde las posibles áreas productivas de concentrados de uranio como los depósitos Cerro Solo y Sierra Pintada, o desde el exterior, hasta la Nueva Planta de UO₂ (NPUO₂) en Formosa. Al respecto, se proponen distintos modos de transporte por vías terrestres, marinas y fluviales.

Se pretende finalmente arribar a conclusiones respecto a las variables a considerar en el suministro de materias primas que sean aplicables no sólo al escenario propuesto, sino a otras alternativas de generación nucleoelectrónica en el país.

2 Recursos para el Combustible Nuclear

2.1 Recursos Nacionales [1][3]

Históricamente, los recursos de uranio en Argentina han sido clasificados y reportados de acuerdo a lo establecido por la Agencia de Energía Nuclear - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (AEN-OCDE) y el Organismo Internacional de Energía Nuclear (OIEA), el "Libro Rojo" [1].

En 2016, la CNEA reportó cerca de 20000 tU como recursos identificados (recursos razonablemente asegurados + recursos inferidos) para la categoría de costos de producción <US\$ 130/kgU. Además, alrededor de 11000 tU de recursos certificados por el Instrumento Nacional Canadiense NI 43-101 fueron reportados por compañías mineras juniors que trabajan en el país. Es decir, que en la categoría de recursos identificados los recursos totales de uranio de Argentina son aproximadamente 31000 tU (Tabla 2).

Proyecto	NEA/IAEA Producción Estado del Centro	NEA/IAEA Clasificación	Recursos (tU)	Total (tU)
Cerro Solo	Prospectiva	RAR<US \$130/kg	4420	9230
		IR<US \$130/kg	4810	
Sierra Pintada	Prospectiva	RAR<US \$130/kg	3900	10010
		IR<US \$130/kg	6110	
Laguna Salada	Sin Clarificar	RAR<US \$130/kg	2420	3880
		IR<US \$130/kg	1460	
Meseta Central	Sin Clarificar	RAR<US \$130/kg	-	7350
		IR<US \$130/kg	7350	
Don Otto	Sin Clarificar	RAR<US \$130/kg	130	430
		IR<US \$130/kg	300	
Laguna Colorada	No Viable	RAR<US \$130/kg	100	160
		IR<US \$130/kg	60	
Total				31060

Fuente: © OECD NEA (2016) Uranium 2016: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency

IR: Recursos Inferidos

RAR: Recursos Razonablemente Asegurados

Tabla 2: Recurso de Uranio mostrados en NEA/IAEA esquema de clasificación [1]

Siguiendo los criterios que propone la Clasificación Marco de las Naciones Unidas (UNFC) (Ver Anexo 1) acerca de la viabilidad social y económica (E), la factibilidad técnica (F) y el conocimiento geológico (G) los recursos de uranio reportados de diferentes proyectos de la CNEA y de empresas mineras fueron clasificados a nivel de subcategoría y se agruparon en las principales clases consideradas en este sistema clasificación, tal como se muestra en la Tabla 3, ver Anexo 1.

Proyecto	UNFC -2009 Clase	UNFC -2009 Sub-Clase	UNFC -2009 Categorías	Recursos (tU)
Cerro Solo	Proyecto Potencialmente Comercial	Desarrollo Pendiente	E2 F2.1 G1	2420
			E2 F2.1 G2	2000
			E2 F2.1 G3	4810
Sierra Pintada	Proyecto Potencialmente Comercial	Desarrollo en Espera	E2 F2.2 G1	2700
			E2 F2.2 G2	1200
			E2 F2.2 G3	6110
Laguna Salada	Proyecto Potencialmente No Comercial	Desarrollo sin Clarificar	-	-
			E3.2 F2.2 G2	2420
			E3.2 F2.2 G3	1460
Meseta Central	Proyecto Potencialmente No Comercial	Desarrollo sin Clarificar	-	-
			-	-
			E3.2 F2.2 G3	7350
Don Otto	Proyecto Potencialmente No Comercial	Desarrollo sin Clarificar	E3.2 F2.2 G1	70
			E3.2 F2.2 G2	60
			E3.2 F2.2 G3	300
Laguna Colorada	Proyecto Potencialmente No Comercial	Desarrollo no Viable	E3.3 F2.3 G1	80
			E3.3 F2.3 G2	20
			E3.3 F2.3 G3	60

Fuente: UNECE Application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 to Nuclear Fuel Resources – Selected Case Studies; ECE ENERGY SERIES No. 46; UNITED NATIONS New York and Geneva, 2015. C.

Tabla 3: Recurso de Uranio mostrados en UNFC-2009 esquema de clasificación [3]

2.1.1 Depósito Cerro Solo [3]

En el Depósito Cerro Solo (Provincia del Chubut) el tonelaje y la ley estimados podrían asegurar la producción sostenida de uranio en el futuro. Este depósito ciego fue descubierto en 1971. Está localizado en areniscas y conglomerados fluviales cretáceos del Grupo Chubut.

Los recursos identificados son 9230 tU, con leyes entre 0,1 y 0,2 %U, incluidos en la categoría <US\$ 130 / kgU de costo de producción. Los recursos reportados corresponden a los dos cuerpos mineralizados más estudiados y los conocimientos geológicos disponibles indican muy buenas perspectivas para desarrollar nuevos recursos de uranio en esta propiedad minera.

2.1.2 Depósito de Sierra Pintada [3]

El depósito de uranio Sierra Pintada (Provincia de Mendoza) pertenece al modelo volcánico.

El nivel de incertidumbre en la estimación de los recursos remanentes en Sierra Pintada es de mediano a alto, y están valuados en 10010 tU recuperables a un costo de producción inferior a US\$ 130 /kg U.

Este depósito ha sido el foco de explotación de uranio más importante del país, con un total de producción de 1600 tU de 1975 a 1997, año en el que la planta minera se paró por razones económicas.

Por lo tanto, la viabilidad ha sido parcialmente demostrada por el hecho de que el depósito estaba previamente en funcionamiento, utilizando como métodos extractivos de minería a cielo abierto con lixiviación ácida en pilas. Además, se han considerado otras alternativas de producción futura, incluyendo el uso de lixiviación alcalina, la biolixiviación y lixiviación en cubas.

2.1.3 Proyecto Laguna Salada [3]

El proyecto Laguna Salada (Provincia del Chubut) incluye las áreas de Guanaco y Lago Seco, correspondientes a un depósito superficial de uranio-vanadio.

Los recursos identificados de uranio se han valuado en 3880 tU en leyes que oscilan entre 55 y 72 ppm U, mientras que los recursos identificados de vanadio han sido valuados en 21330 tV en leyes que oscilan entre 308 y 330 ppm V.

Los resultados metalúrgicos iniciales muestran que los contenidos de uranio y vanadio se incrementan entre 3 y 11 veces por simple tamizado, seguido de una rápida extracción de uranio-vanadio utilizando lixiviación alcalina en el sector Guanaco, mientras que la lixiviación ácida es muy efectiva en el área del Lago Seco.

Recientemente, U3O8 Corporation ha reportado una Evaluación Económica Preliminar (PEA) favorable para Laguna Salada, tomando en consideración la extracción integral de U-V. La PEA incluye alrededor del 40 por ciento de recursos inferidos y en la medida en que continúen de las actividades de exploración se pueden aumentar los recursos y el conocimiento geológico y el proyecto podría pasar a clasificarse como "proyectos potencialmente comerciales" según la UNFC.

2.1.4 Proyecto Meseta Central [3]

El proyecto Meseta Central (Provincia del Chubut) se encuentra en las cercanías de Cerro Solo y comprende los depósitos Graben, Plateau Oeste y Plateau Este. La mineralización de uranio está alojada en limos, areniscas y conglomerados de origen fluvial y lacustre de la formación de Adobes del Cretácico.

Los recursos inferidos totales para el proyecto son de 7350 tU con un promedio de 260 ppm U. Según informó UrAmerica Ltd., alrededor del 75 por ciento de los recursos de uranio evaluados se encuentran en acuíferos confinados. Por lo tanto, otros estudios geológicos e hidrológicos serán dirigidos a determinar la factibilidad de la minería por lixiviación in situ. Los resultados de estos estudios podrían jugar un papel relevante con respecto a la viabilidad socioeconómica de este proyecto.

2.1.5 Depósito Don Otto [3]

El depósito de uranio-vanadio tipo arenisca-tabular Don Otto (Provincia de Salta) estuvo en operación extractiva desde 1963 hasta 1981 y produjo 201 tU al 0,1-0,2 por ciento de U. El yacimiento Don Otto se clasifica como un "proyecto no comercial" cuyo desarrollo no está clarificado. Sin embargo, se debe destacar que este yacimiento estuvo previamente en operación y los estudios recientes de exploración arrojaron resultados muy alentadores y puede ser posible que en el futuro el proyecto pueda clasificarse en un nivel más alto de acuerdo al criterio UNFC. Además, la ampliación de la propiedad minera y el aumento de recursos son considerados factores claves para asegurar la viabilidad del proyecto. Un estudio exhaustivo que incluya la actualización de la evaluación de impacto ambiental (EIA), estudios de investigación y desarrollo de lixiviación en bloques, viabilidad de la extracción subterránea, uso de plantas móviles de intercambio iónico y recuperación de uranio de las antiguas pilas de lixiviación y la remediación del sitio, son todos factores que apuntarían a la misma dirección respecto a la viabilidad del proyecto.

2.1.6 Laguna Colorada [3]

Los escasos recursos de Laguna Colorada (Provincia del Chubut) hacen difícil imaginar la extracción, a menos que las características del mineral permitan el tratamiento en una planta que en el futuro esté ubicada en la zona de Cerro Solo.

En última instancia, el proyecto Cerro Solo parece ser el proyecto de uranio más prometedor en Argentina, y con supuestos realistas de las posibles condiciones del mercado externo, costos locales y la obtención de la licencia social, hay perspectivas de extracción en un futuro próximo.

3 Capítulo 3

3.1 Requerimiento de Uranio

Para poder determinar la demanda de uranio que se necesitará para abastecer 6 centrales nucleares, en el intervalo [2017- 2035], se trabajó con: datos proporcionados por la Subgerencia de Planificación Energética CNEA (SPE-CNEA) (Tabla 4), con calculadoras del proyecto WISE, WISE Uranium Project, que son parte del World Information Service on Energy (Servicio Mundial de Información sobre Energía, www.WISEinternational.org) [4] y con la calculadora JOL's Friendly Enrichment Calculator que se encuentra en la misma página web que las calculadoras WISE Uranium Project. Esta última calculadora se basa en "Programa de Enriquecimiento Amigable de JOL" proporcionado por cortesía de JO Liljenzin y realiza cálculos detallados para el enriquecimiento de uranio natural y reprocesado por difusión gaseosa: balance de masa, concentraciones de isótopos menores, enriquecimiento adicional necesario para compensar la presencia de los isótopos U-234 y/o U-236 que absorben neutrones, costo, y un análisis óptimo de colas para un coste mínimo de combustible.

3.1.1 Datos Proporcionados por la Subgerencia de Planificación Energética CNEA

Datos Técnicos del Reactor y el Combustible	Símbolo	Unidades	ATUCHA I	ATUCHA II UNAT	ATUCHA II ULE	EMBALSE	CAREM 25	CANDU 6	PWR HUALONG
Potencia Instalada	NC	GWe	0,362	0,745	0,745	0,683	0,032	0,740	1,150
Factor de Planta	Lf	n.a.	0,750	0,880	0,880	0,850	0,800	0,850	0,850
Generación Eléctrica Anual		Mwa	271,500	655,600	655,600	580,550	25,600	629,000	977,500
Eficiencia Térmica	Eff	n.a.	0,307	0,345	0,345	0,308	0,320	0,330	0,377
Heat Rate		kcal/kWh	2801,000	2495,000	2495,000	2794,000		2606,061	2280,870
Poder Calorífico		kcal/kg	220950000	154800000	220950000	148240000		154772141	
Quemado	Bu	GWd/tHM	10,707	7,501	10,707	7,183	18,000	7,500	45,000
Tiempo de Residencia	Tr	FFPD	456,000	301,000	456,000	335,000	840,000	335,000	1620,000
Enriquecimiento de Combustible Fresco	Enr	n.a.	0,009	0,007	0,009	0,007	0,031	0,007	0,045
Ensayo de Colas	Ta	n.a.	0,003	0,003	0,003		0,003		0,003
Tiempo de Refrigeración	Tcool	año	5,000	5,000	5,000	6,000	5,000	6,000	5,000

Tabla 4: Datos proporcionados por la Subsecretaría de Planificación Energética CNEA

Utilizando las ecuaciones indicadas en la sección 2: "Caso de demostración 1: Un NES (Sistema de Energía Nuclear) con un ciclo de combustible abierto" de la guía de la OIEA No. NG-T-5.2 "Modelado de los Sistemas de Energía Nuclear con Message: Una Guía del Usuario"[7]. La Subgerencia de Planificación Energética CNEA obtuvo los resultados citados en la Tabla 5.

Cálculo Analítico para el Flujo de Masa para el Ciclo de Combustible Abierto	Símbolo	Unidades	ATUCHA I	ATUCHA II - UNAT	ATUCHA II - ULE	EMBALSE	CAREM 25	CANDU 6	PWR HUALONG
Parámetros Anuales									
Combustible Fresco	FF	tHM	30,145	92,547	64,840	95,836	1,622	92,762	21,028
Combustible en el Núcleo	FuelInCore	tHM	50,214	86,727	92,051	103,481	4,667	100,162	109,800
U Natural	NatU	tHM	40,301	92,547	86,684	95,836	11,041	92,762	212,121
Conversión					86,684	95,836	11,041	92,762	212,121
SWU	SWU	tSWU			7,404		5,846		128,937
- V (Enriquecimiento)					4,678		3,229		2,794
- V (Colas)					1,944		33,508		52,447
- V (U Nat)					6,508		33,134		49,109
U Depletado					21,844		9,419		191,093
Combustible Gastado Descargado	SFS	tHM+ t FP	30,145	92,547	64,840	95,836	1,622	92,762	21,028

Tabla 5: Resultados obtenidos mediante la aplicación de las ecuaciones de la guía de la OIEA N° NG-T5.2

3.1.1.1 Ecuaciones de la guía de la OIEA N° NG-T5.2 [7]

3.1.1.1.1 Combustible Fresco Anual (FF)

$$FF = \frac{365 * NC * Lf}{Eff * Bu}$$

NC= Potencia Instalada

Lf= Factor de Planta

Eff= Eficiencia Térmica

Bu= Quemado

3.1.1.1.2 Primera Carga (Combustible en el núcleo)

$$FuelInCore = \frac{FF * Tr}{365 * Lf}$$

FF= Combustible Fresco Anual

Lf= Factor de Planta

Tr= Tiempo de Residencia

3.1.1.1.3 Consumo de Uranio Natura (NatU)

$$NatU = \frac{FF * (Enr - Ta)}{0.007114 - Ta}$$

FF= Combustible Fresco Anual

Enr= Enriquecimiento de Combustible Fresco

Ta= Ensayo de Colas

3.1.1.1.4 Conversión (Cn)

$$Cn = NatU$$

3.1.1.1.5 Unidad de Trabajo Separativo (SWU)

$$SWU = FF * \left(V(Enr) + V(Ta) \frac{Enr - 0.007114}{0.007114 - Ta} - V(0.007114) \frac{Enr - Ta}{0.007114 - Ta} \right)$$

Donde

$$V(x) = (1 - 2x) \ln \left(\frac{1-x}{x} \right)$$

3.1.1.1.6 Producción de Uranio Depletado

$$DepU = FF * \frac{Enr - 0.007114}{0.007114 - Ta}$$

3.1.1.1.7 Combustible Gastado Descargado

$$SFD = FF$$

El combustible descargado incluye metal pesado y productos de fisión.

3.1.2 Calculadoras del Proyecto WISE [4]

WISE Uranium Project ofrece una selección única de más de 40 calculadoras interactivas que cubren una amplia gama de problemas con la industria de combustible nuclear:

- Fenómenos Científicos:
 - nuclear: la desintegración y el crecimiento de los radionucleídos en una serie de decaimiento, activación de neutrones, reacciones de alfa-neutrones,
 - biológico: la biocinética (transporte y deposición) de uranio ingerido o inhalado dentro del cuerpo humano,
 - geotécnica: estabilidad de los depósitos de relaves,

- Flujo de materiales, el consumo de energía y pérdidas en las diversas etapas de la producción de combustible nuclear, incluidos también los procesos "exóticos", como el reenriquecimiento de las colas y la reducción de la concentración de uranio altamente enriquecido,
- Economía de la producción de combustible nuclear, como la viabilidad de las minas de uranio, el costo de combustible nuclear de una sola vez o reciclado, la optimización de los costos de enriquecimiento, la reducción del valor del uranio mediante reenriquecimiento,
- Emisiones de radiación de minas de uranio, plantas de procesamiento y sitios de relaves, y las dosis de radiación resultantes para empleados mineros y residentes.

3.1.2.1 Parámetros de Proceso

Para poder utilizar las calculadoras que provee el sitio WISE Uranium Project, se estudió cada central en forma separada ya que estas poseen parámetros diferentes. (Tabla 6)

Parámetros de Proceso	Unidades	ATUCHA I	ATUCHA II - UNAT	ATUCHA II - ULE	EMBALSE	CAREM 25	CANDU 6	PWR HUALONG
Depósito de Mineral								
Relación Estéril / Mineral		5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Ley Mineral	% en peso	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Procesamiento								
Pérdidas de Extracción	%	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48	8,48
Sólidos en Efluentes de Relaves	% en peso	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Conversión								
Pérdidas	%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Residuos Sólidos	t / tU	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Residuos Líquidos	m ³ /tU	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
Enriquecimiento								
Ensayo del Producto	% en peso de U	0,85	0,71	0,85	0,71	3,10	0,71	4,45
Ensayo de Colas	% U-235	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Consumo Específico de Electricidad	KWh/SWU	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Central								
Quemado	GWd/tHM	10,71	7,50	10,70	7,18	18,00	7,50	45,00
Eficiencia Térmica		0,31	0,35	0,35	0,31	0,32	0,33	0,38

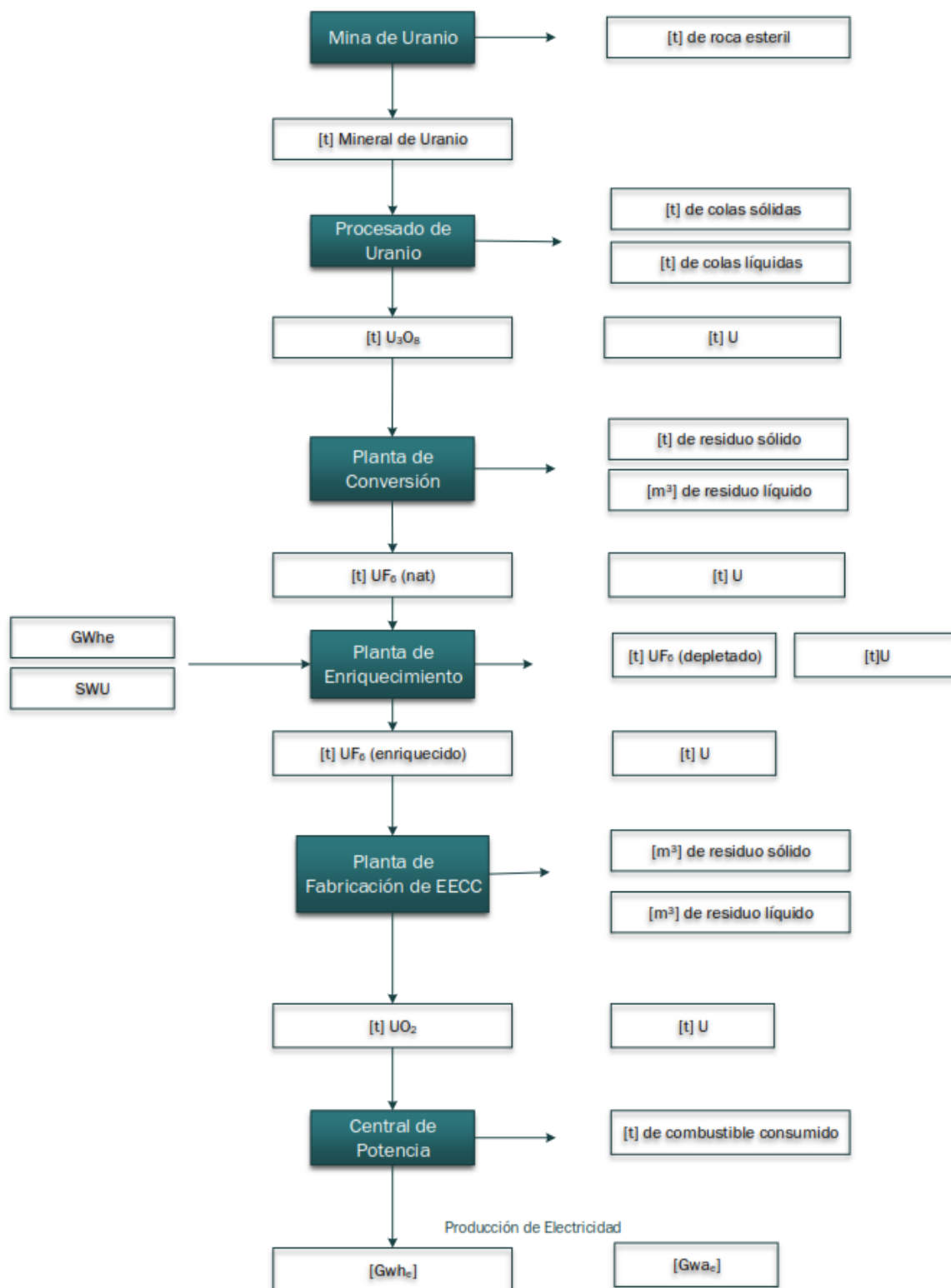
Tabla 6: Parámetros de Proceso

Las calculadoras ofrecen valores de parámetros por defecto, los valores que se ingresaron estuvieron determinados de acuerdo a las características del mineral y a las características de cada central, como ser:

- Enriquecimiento (ensayo del producto)
- Quemado
- Eficiencia Térmica

3.1.3 Cálculo Analítico para el Flujo de Masa para el Ciclo de Combustible Abierto. Comparación de Resultados

Se trabajó con el diagrama de flujo de masa que proporciona las calculadoras del proyecto WISE, este se muestra en la Figura N° 2.



Fuente: Elaboración propia con base en el diagrama de flujo resultado de aplicación de las calculadoras del proyecto WISE

Figura N° 2: Diagrama de Flujo de Masa

Para cada central se obtuvo un diagrama de flujo, cuyos resultados se resumieron en tablas para poder facilitar su comparación entre los obtenidos con las calculadoras del WISE Uranium Project, la calculadora JOL's Friendly Enrichment Calculator y los resultados provistos por la Subgerencia de Planificación Energética CNEA (SPE-CNEA).

3.1.3.1 Mina de Uranio

La cantidad total de toneladas de uranio que se estima que deberían ser extraídas para cada central de acuerdo a sus características, junto con el tonelaje de roca estéril solo pudo ser calculada por las calculadoras que provee el proyecto WISE, razón por la que los resultados no pudieron ser contrastados con otros métodos.

Analizando los resultados mostrados en la Tabla 7 se deduce que para obtener 1 tU implica tratar 1000 de mineral y remover 5000 t de roca estéril, dato que se debe considerar en la gestión de los residuos de mina.

Central	Mina de Uranio		
	WISE		
	Roca Estéril	Mineral de U	
	[t]	[t U ore]	[tU]
Atucha I	218778,300	43755,670	43,756
Atucha II- Unat	506081,800	101216,400	101,216
Atucha II- ULE	474238,300	94847,660	94,848
Embalse	520855,400	104171,100	104,171
CAREM 25	61294,620	12258,920	12,259
Candu 6	514975,500	102995,100	102,995
PWR Hualong	1177763,000	235552,600	235,553

Tabla 7: Toneladas de uranio extraídas en mina necesarias para el requerimiento de cada central

3.1.3.2 Procesado de Uranio

Para poder determinar las toneladas del concentrado de uranio se trabajó con las dos calculadoras mencionadas anteriormente. Los resultados obtenidos con la calculadora JOL's son un 0.3% mayores a los conseguidos por la calculadora WISE, Tabla 8.

Central	Procesado de Uranio					
	WISE				JOL's	
	U3O8	U	R.S.	R.L.	U3O8	U
	[t]	[t]	[t]	m3	[t]	[t]
Atucha I	47,223	40,045	43708,450	43708,450	47,371	40,171
Atucha II- Unat	109,237	92,633	101107,100	101107,100	109,608	92,947
Atucha II- ULE	102,364	86,805	94745,300	94745,300	102,684	87,076
Embalse	112,426	95,337	104058,700	104058,700	112,807	95,661
CAREM 25	13,230	11,219	12245,690	12245,690	13,265	11,249
Candu 6	111,157	94,261	102883,900	102883,900	111,534	94,581
PWR Hualong	254,219	215,578	235298,300	235298,300	254,882	216,141

Tabla 8: Toneladas de concentrado de uranio

3.1.3.3 Planta de Conversión

A partir de esta etapa se poseen más datos conocidos por lo que se puede comparar los tres métodos propuestos en este capítulo. Se mantiene la diferencia de 0.3% en los resultados entre las calculadoras, excepto los valores obtenidos en la central CAREM 25, cuya diferencia es aproximadamente 6.4% mayor en el calculado por JOL's. Los datos proporcionados por SPE-CNEA difieren de los resultados obtenidos con las calculadoras en 1% y con respecto a la central CAREM 25 es alrededor del 7%. (Tabla 9)

Central	Planta de Conversión				
	SPE-CNEA	WISE			JOL's
		U	R.S.	R.L.	
		[tU]	[t]	[m3]	
Atucha I		39,845	27,691	258,992	39,970
Atucha II- Unat		92,170	64,519	599,105	92,483
Atucha II- ULE	86,684	86,371	60,459	561,409	86,641
Embalse	95,836	94,861	66,402	616,594	95,182
CAREM 25	11,041	11,163	7,814	72,561	11,927
Candu 6	92,762	93,790	65,653	609,634	94,108
PWR Hualong	212,121	214,500	150,150	1394,249	215,060

R.S.= Residuos Sólidos

R.L.= Residuos Líquidos

Tabla 9: Comparación de requerimiento de U en toneladas en la planta de conversión

3.1.3.4 Planta de Enriquecimiento

En la Tabla 10 lo que más se destaca al comparar los resultados obtenidos es que las plantas que utilizan uranio natural como combustible, presentan una diferencia en el valor del SWU cercana al 22%. Se infiere que las calculadoras pueden presentar un error cuando se trata de centrales alimentadas con uranio natural, ya que por necesidades de la programación de las calculadoras debió considerarse que el combustible estaba enriquecido al 0,7114% de U235.

Central	Planta de Enriquecimiento							
	SWU			U		U Depletado		
	SPE-CNEA	WISE	JOL's	WISE	JOL's	SPE-CNEA	WISE	JOL's
	[t]			[tU]	[tU]	[tU]	[tU]	[tU]
Atucha I	3,442	3411,066	3517,361	29,775	29,775		10,070	10,195
Atucha II- Unat	0,000	25,815	118,046	92,080	92,080		0,090	0,402
Atucha II- ULE	7,404	7394,051	7624,462	64,542	64,542	21,844	21,828	22,099
Embalse	0,000	26,569	121,492	94,768	94,768		0,092	0,414
CAREM 25	0,000	5907,865	6030,170	1,639	1,639	9,419	9,525	9,554
Candu 6	0,000	26,269	120,120	93,699	93,697		0,091	0,409
PWR Hualong	0,000	130316,900	132974,500	21,243	21,243	191,093	193,257	193,817

Tabla 10: Comparación de requerimiento de U en toneladas en la planta de enriquecimiento

3.1.3.5 Planta de Fabricación de Combustible

Los resultados obtenidos en el cálculo de requerimiento de uranio para la planta de fabricación del elemento combustible, no se observa diferencia entre las calculadoras; pero estos resultados no pueden compararse con los datos de SPE-CNEA porque los mismos corresponden al "heavy metal" situado dentro del núcleo (Tabla 11).

Central	Planta de Fabricación de Combustible				
	Combustible Fresco		U Natural		Combustible en el Núcleo
	WISE	JOL's	WISE	JOL's	SPE-CNEA
	[t UO ₂]	[t UO ₂]	[t U]	[t U]	[tHM]
Atucha I	33,440	33,440	29,477	29,477	50,214
Atucha II- Unat	103,414	103,414	91,160	91,160	86,727
Atucha II- ULE	72,487	72,487	63,897	63,897	92,051
Embalse	106,433	106,433	93,821	93,821	103,481
CAREM 25	1,840	1,840	1,622	1,622	4,667
Candu 6	105,232	105,232	92,762	92,762	100,162
PWR Hualong	23,858	23,858	21,031	21,031	109,800

Tabla 11: Comparación de requerimiento de U en toneladas en la c de fabricación de combustible

3.1.4 Requerimiento de Uranio Natural en la Mina

Realizando un análisis de las centrales nucleares consideradas en el periodo planteado como escenario de estudio (Figura N° 3), se muestra a continuación, cuál sería la tendencia de requerimiento de uranio año a año (Figura N° 4), utilizando los datos proporcionados por la calculadora del proyecto WISE (Tabla 12).

Esto permite evidenciar los años de mayor demanda y efectuar una comparación estimativa con los recursos identificados en el país.

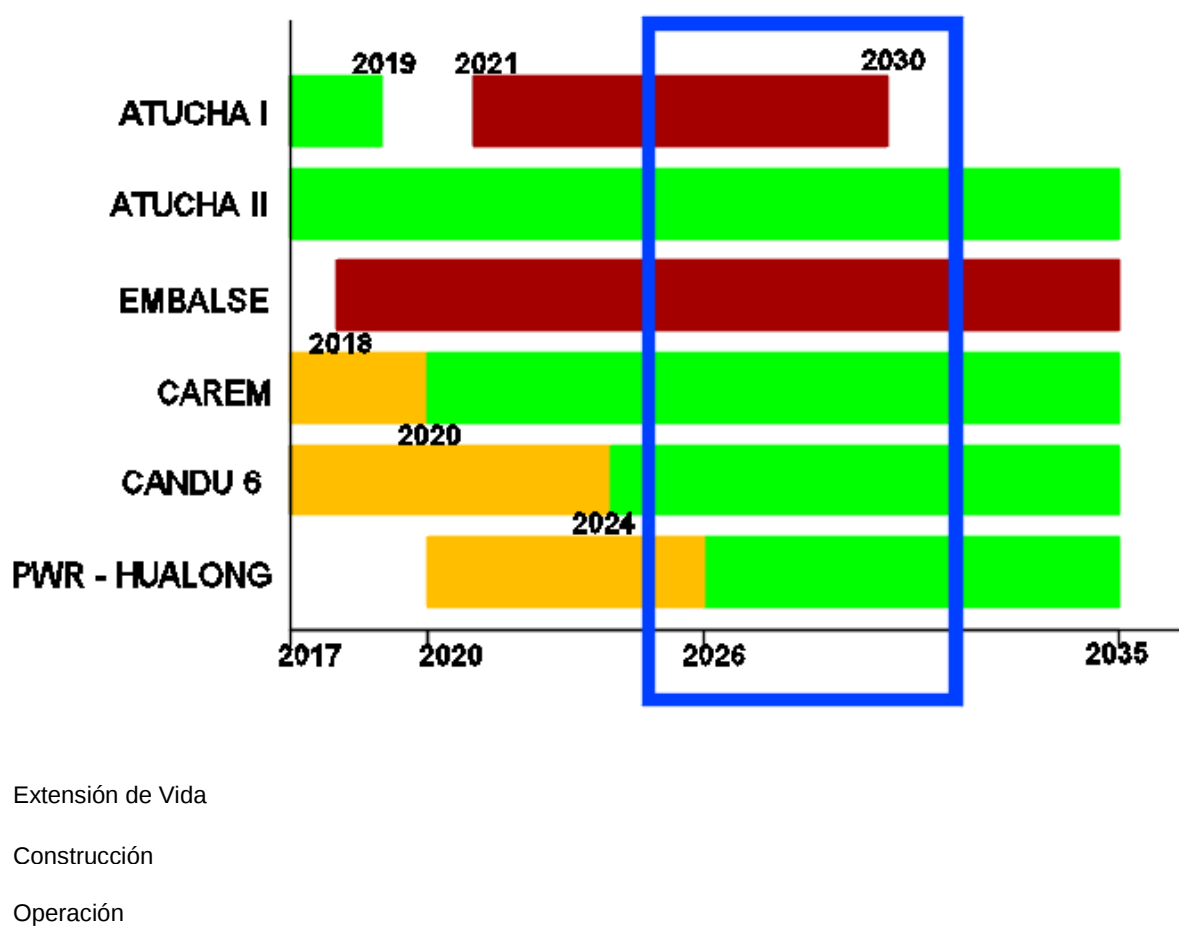


Figura N° 3: Escenario propuesto

ESCENARIO DE ALTA (REQUERIMIENTOS DE URANIO NATURAL, TONELADAS)						
Año	ATUCHA I	ATUCHA II	EMBALSE	CAREM 25	CANDU 6	PWR Hualong
	WISE	WISE	WISE	WISE	WISE	WISE
2017	43,76	101,22				
2018	43,76	101,22	104,17			
2019		101,22	104,17			
2020		101,22	104,17	12,26		
2021	43,76	94,85	104,17	12,26		
2022	43,76	94,85	104,17	12,26		
2023	43,76	94,85	104,17	12,26		
2024	43,76	94,85	104,17	12,26	103,00	
2025	43,76	94,85	104,17	12,26	103,00	
2026	43,76	94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2027	43,76	94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2028	43,76	94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2029	43,76	94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2030	43,76	94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2031		94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2032		94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2033		94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2034		94,85	104,17	12,26	103,00	235,55
2035		94,85	104,17	12,26	103,00	235,55

Tabla 12: Requerimiento de uranio por año y por central

Como se observa en la Tabla 13 el periodo de mayor demanda es el comprendido entre los años 2026 y 2030, ya que en este periodo se encuentran operando a plena potencia las seis centrales.

Requerimiento de Uranio	
Año	[tU]
	WISE
2017	144,97
2018	249,14
2019	205,39
2020	217,65
2021	255,03
2022	255,03
2023	255,03
2024	358,03
2025	358,03
2026	593,58
2027	593,58
2028	593,58
2029	593,58
2030	593,58
2031	549,83
2032	549,83
2033	549,83
2034	549,83
2035	549,83
TOTAL	8015,34

Años de mayor demanda

Tabla 13: Requerimiento totales de uranio por año

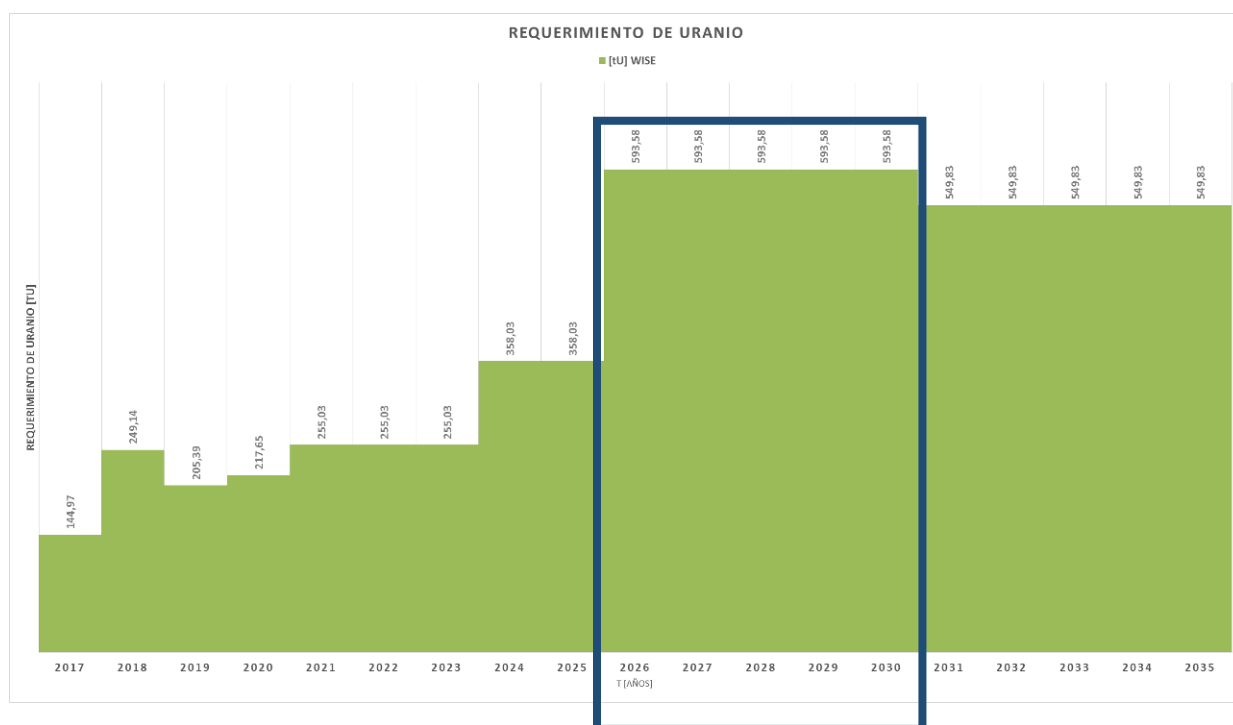
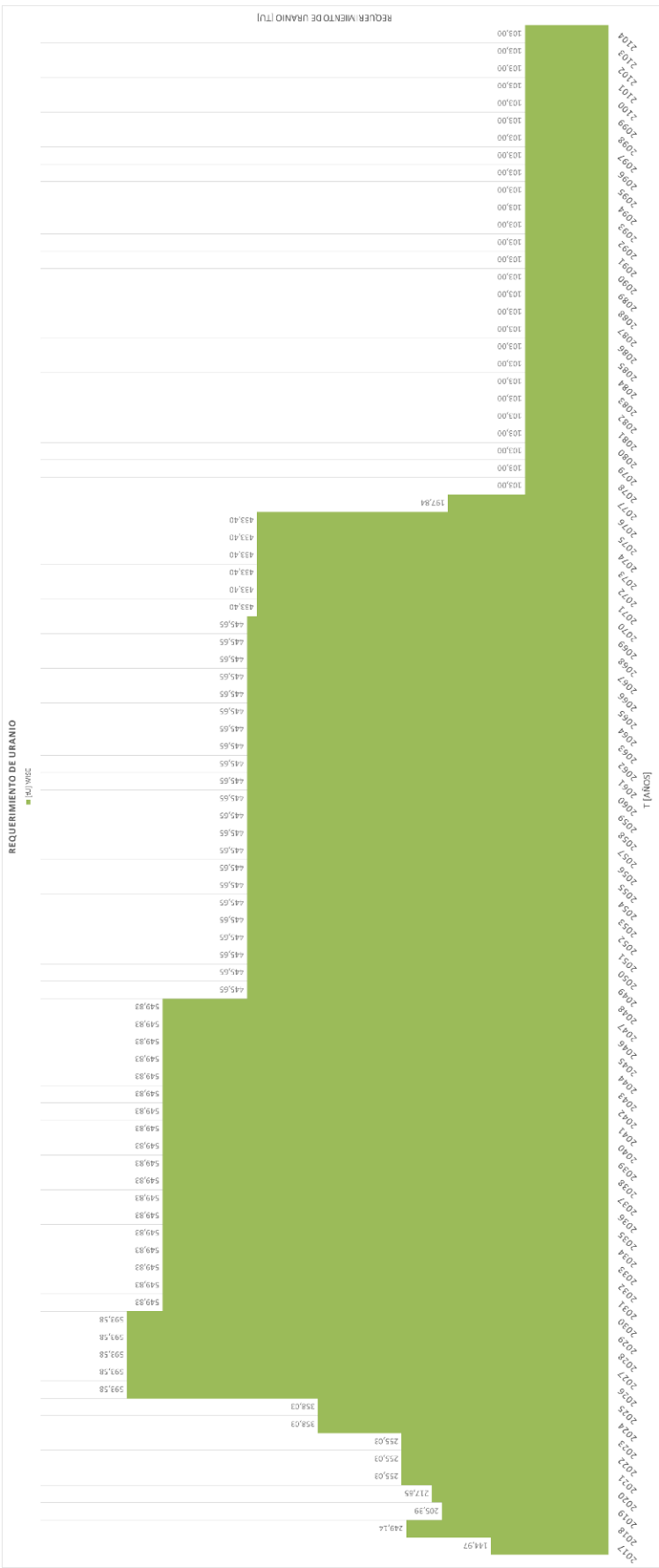


Figura N° 4: Requerimiento de uranio durante el periodo 2017-2035

Además se estudió la hipótesis de que:

- el parque nuclear propuesto no se ampliara,
- que la central Atucha II tuviese una extensión de vida de 10 años
- que las centrales CAREM 25, Candú-6 y PWR-Hualong tuviesen una vida útil de 50 años
- que se considerara hacer una extensión de vida de 30 años a la central Candú-6
- y no se aumenten los recursos de uranio considerados en este trabajo.

Planteada esta hipótesis, se estimó la demanda de uranio del parque nuclear hipotético hasta finalizar su vida útil en el año 2104. Se obtuvo que el requerimiento de uranio natural total hasta ese año sería aproximadamente 31000 tU, es decir que los recursos actuales de 31060 tU se agotarían junto con la finalización de operación de las centrales nucleares propuestas. A continuación se muestra en la Tabla 14 la variación gráfica y los requerimientos de uranio. En esta Tabla se han ocultado los años de igual valor de tU, con el objeto de poder mostrar aquellos más representativos.



Requerimiento de Uranio	
Año	[tU]
	WISE
2017	144,97
2018	249,14
2019	205,39
2020	217,65
2021	255,03
2022	255,03
2023	255,03
2024	358,03
2025	358,03
2026	593,58
2027	593,58
2028	593,58
2029	593,58
2030	593,58
2031	549,83
2048	549,83
2049	445,65
2070	445,65
2071	433,40
2076	433,40
2077	197,84
2078	103,00
2104	103,00
TOTAL	30546,54

Tabla 14: Requerimiento de uranio hasta completar la vida útil del parque nuclear propuesto.

3.1.5 Requerimiento de uranio en la planta de conversión

En este punto se pretende estimar las toneladas necesarias que deben ser convertidas en dióxido de uranio por año y determinar si la producción de 460 tUO₂/año que se considera que obtendrá la NPUO₂ en la provincia de Formosa será suficiente para abastecer la demanda interna durante el periodo 2017 – 2035.

En la Tabla 9 se presenta el uranio natural calculado por los tres métodos mencionados anteriormente que requerirá cada central nuclear durante los años que se encuentren operativas.

ESCENARIO DE ALTA (REQUERIMIENTOS DE URANIO NATURAL, TONELADAS)																		
Año	ATUCHA I			ATUCHA II			EMBALSE			CAREM 25			CANDU 6			PWR Hualong		
	SPE-CNEA	WISE	JOL's	SPE-CNEA	WISE	JOL's	SPE-CNEA	WISE	JOL's	SPE-CNEA	WISE	JOL's	SPE-CNEA	WISE	JOL's	SPE-CNEA	WISE	JOL's
2017	40,30	39,84	39,97	92,55	92,17	92,48												
2018	40,30	39,84	39,97	92,55	92,17	92,48	95,84	94,86	95,18									
2019				92,55	92,17	92,48	95,84	94,86	95,18									
2020				92,55	92,17	92,48	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93						
2021	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93						
2022	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93						
2023	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93						
2024	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11			
2025	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11			
2026	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2027	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2028	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2029	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2030	40,30	39,84	39,97	86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2031				86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2032				86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2033				86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2034				86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06
2035				86,68	86,37	86,64	95,84	94,86	95,18	11,04	11,16	11,93	92,76	93,79	94,11	212,12	214,50	215,06

Tabla 15: Requerimiento de uranio natural año a año por cada central

En la Tabla 16 y en la Figura N° 5 se puede observar que a partir del año 2026 la demanda de uranio necesaria en la etapa de conversión superaría la capacidad de producción de la NPUO₂ de 460 tU/año. Podría formularse producir en exceso en años de menor demanda y acopiar para etapas de mayor requerimiento.

Requerimiento de Uranio			
Año	[tU]	[tU]	[tU]
	SPE-CNEA	WISE	JOL's
2017	132,85	132,02	132,45
2018	228,68	226,88	227,63
2019	188,38	187,03	187,66
2020	199,42	198,19	199,59
2021	233,86	232,24	233,72
2022	233,86	232,24	233,72
2023	233,86	232,24	233,72
2024	326,62	326,03	327,83
2025	326,62	326,03	327,83
2026	538,74	540,53	542,89
2027	538,74	540,53	542,89
2028	538,74	540,53	542,89
2029	538,74	540,53	542,89
2030	538,74	540,53	542,89
2031	498,44	500,68	502,92
2032	498,44	500,68	502,92
2033	498,44	500,68	502,92
2034	498,44	500,68	502,92
2035	498,44	500,68	502,92
TOTAL	7290,10	7298,96	7333,18

Tabla 16: Requerimiento de uranio natural totales

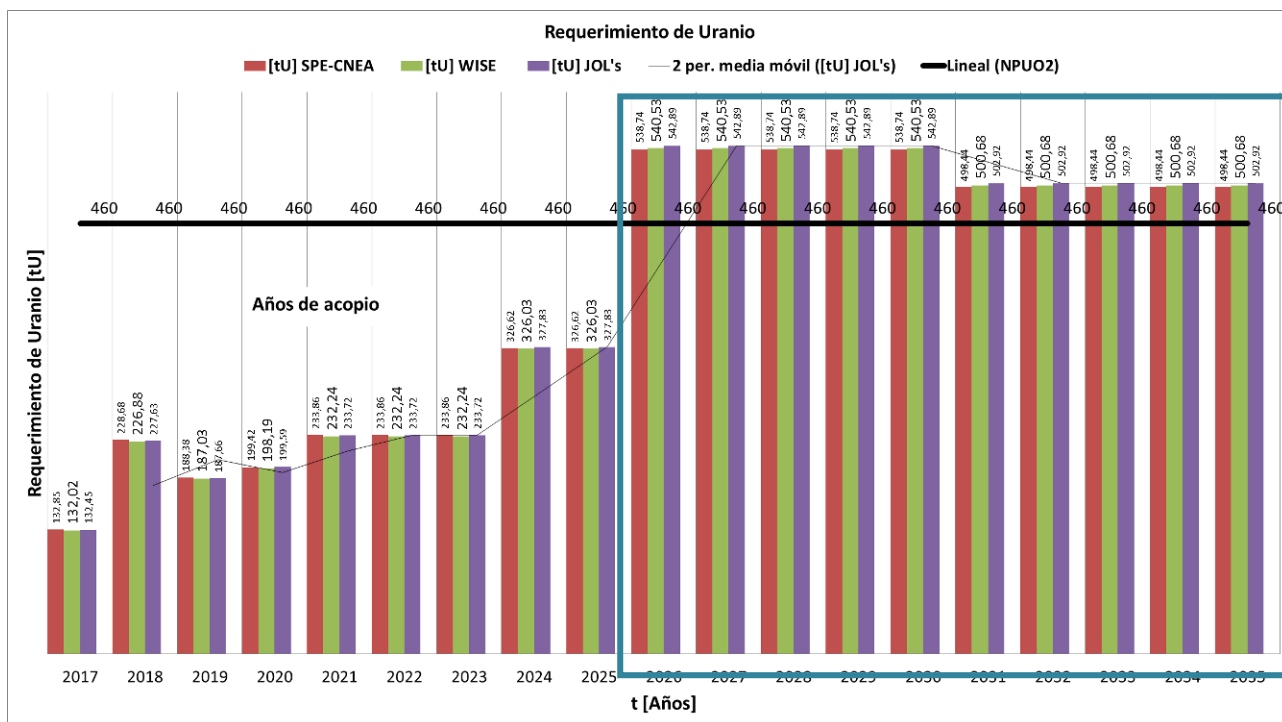


Figura N° 5: Comparación de métodos de cálculo de la demanda de uranio en la etapa de conversión

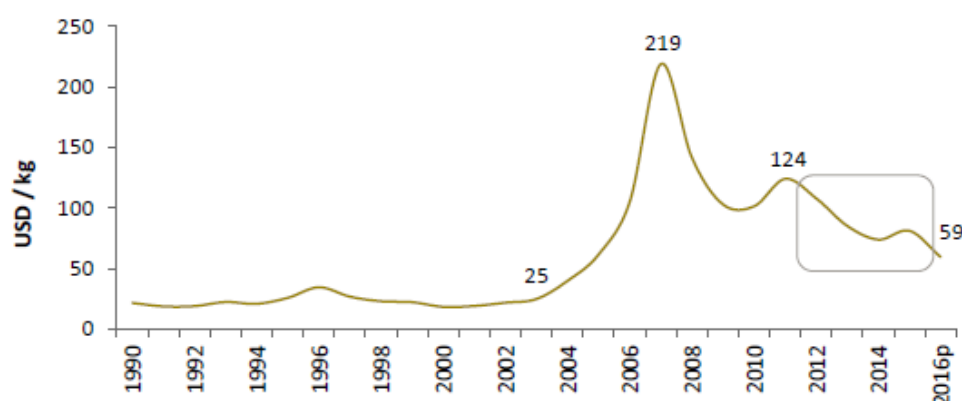
4 Capítulo 4

4.1 Mercado de Uranio

4.1.1 Políticas de uranio, stocks de uranio y precios del uranio [17]

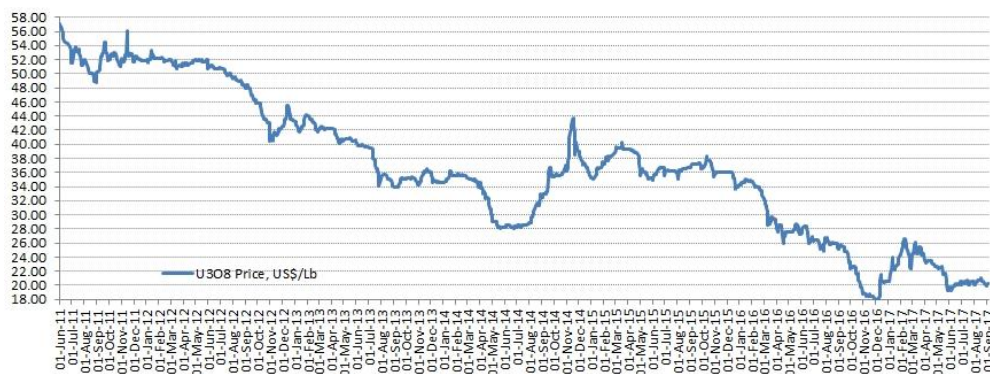
El uranio adquirido es bajo la forma de concentrado que proviene de las minas y plantas de tratamiento. Luego se realizan separadamente los servicios de conversión, enriquecimiento (de ser necesario) y fabricación del combustible nuclear.

La evolución de los precios del uranio (UOC) ha sido declinante durante los últimos años, siendo el promedio de 11 meses de 2016 de 59,43 USD/kg tras haber alcanzado un pico de 218,78 USD/kg en 2007 (Figura N° 6 y Figura N° 7).



Fuente: Situación actual y perspectivas, Diciembre 2016. Ministerio de Energía y Minería – Presidencia de la Nación

Figura N° 6: Evolución Precio del Uranio Anual [US\$/kg]



Fuente: Numerco 18 de octubre de 2017

Figura N° 7: Evolución Precio del Uranio Mensual [US\$/lb]

4.1.1.1 Políticas nacionales relativas al uranio

El Código Nacional de Minería del 1997 establece que el gobierno tiene la primera opción para comprar todo el uranio producido en Argentina y que la exportación de uranio es dependiente de que se garantice primero la cobertura de las necesidades internas. También regula las actividades de garantizar el uso de prácticas ambientales que cumplan con las normas internacionales.

4.1.1.2 Stock de uranio

Hoy en día, la CNEA no tiene la responsabilidad de asegurar el stock de concentrado de uranio. La empresa productora de dióxido de uranio (Dioxitek S.A.) y el operador de las plantas nucleares (NA-

SA) tienen la responsabilidad de garantizar un stock de uranio para al menos dos años de funcionamiento de las centrales nucleares de Argentina.

4.1.1.3 Precios de uranio [17][18]

En la Argentina, actualmente no hay producción de uranio por lo que las necesidades de aproximadamente 250 tU/año para la fabricación de combustible de las tres centrales nucleares en operación se cubren con materias primas provenientes del exterior (Canadá, Kazajstán, República Checa y Uzbekistán).

A diferencia de muchos otros metales, el uranio no se comercializa (excepto en contratos futuros) en una Bolsa de Valores, sino que se realiza en forma privada mediante contratos entre compradores (el generador de energía) y vendedores (la mina de uranio o en algunos casos el enriquecedor o el fabricante del combustible nuclear).

La estructura de los contratos entre comprador y vendedor puede variar significativamente en función de si se utiliza un precio fijo o, alternatively, un precio basado en varios valores de referencia con correcciones económicas incorporadas. Más de un 80% del uranio se comercializa mediante estos contratos, y duran entre 3 y 15 años. Es importante mencionar que las centrales nucleares no declaran sus estrategias de compra. Normalmente almacenan de 2 a 3 años de inventario y, en adición, siempre existen unos 2 años de consumo de material dentro del ciclo nuclear.

El precio Spot (precio al contado) del uranio se aplica a las transacciones marginales que ocurren diariamente y sólo representa menos de un 20% de la oferta del uranio. Como se mencionó anteriormente, el uranio, por lo general, no se comercializa en una Bolsa de Valores, por lo que los productores de uranio toman el precio Spot de dos empresas consultoras: UxConsulting Company LLC (UxC) y TradeTech. Ambas empresas utilizan datos del mercado para determinar el precio más competitivo posible disponible. El precio Spot al momento de la entrega es uno de los precios de referencia incluidos en los contratos (Tabla 17, Figura N° 8).

numercos

Nuclear Fuel Indications
Forward Fuel Cycle Curve, Ceiling & Floors
Months, Quarters & Calendars

numercos

11-Oct-17

	U3O8 \$/Lb	Conv \$/Kg	UF6 \$/Kg	Enrich \$/SW	EUP4.95 \$/Kg		U3O8 \$/Lb	Conv \$/Kg	UF6 \$/Kg	Enrich \$/SW	EUP4.95 \$/Kg			
Oct-17	20.56	4.61	57.58	42.56	907	Q417	20.64	4.74	58.48	42.97	919			
Nov-17	20.58	4.62	57.59	42.66	908	Q118	20.86	4.87	59.74	43.30	933			
Dec-17	20.64	4.65	57.82	42.76	911	Q218	21.14	5.04	60.81	43.65	946			
Jan-18	20.71	4.70	58.11	42.86	914	Q318	21.46	5.23	61.92	43.99	959			
Feb-18	20.78	4.74	58.43	42.97	918	Q418	21.81	5.50	63.01	44.34	973			
Mar-18	20.86	4.79	58.89	43.07	923	Q119	22.12	5.91	64.23	44.70	987			
Apr-18	20.95	4.82	59.36	43.19	929	Q219	22.42	6.40	65.56	45.06	1,002			
May-18	21.03	4.87	59.72	43.30	933	Q319	22.76	6.89	67.04	45.43	1,019			
Jun-18	21.14	4.92	60.15	43.41	938	Q419	23.14	7.43	68.52	45.82	1,036			
Jul-18	21.25	4.97	60.49	43.53	942	Q120	23.51	8.05	70.16	46.20	1,054			
Aug-18	21.34	5.04	60.80	43.65	946	Q220	23.92	8.62	71.91	46.60	1,074			
Sep-18	21.45	5.10	61.14	43.77	950	Q320	24.38	9.20	73.73	47.01	1,094			
Oct-18	21.58	5.17	61.55	43.88	955	Q420	24.87	9.77	75.66	47.42	1,115			
Nov-18	21.70	5.22	61.92	43.99	959	Q121	25.56	10.28	77.53	47.84	1,136			
Dec-18	21.81	5.31	62.29	44.11	964	Q221	25.90	10.82	79.33	48.27	1,156			
Jan-19	21.91	5.40	62.65	44.23	968	Cal18	21.32	5.03	60.62	43.59	944			
Feb-19	22.01	5.49	63.00	44.34	972	Cal19	22.61	6.33	65.40	45.01	1,000			
Mar-19	22.11	5.61	63.38	44.46	977	Cal20	24.17	8.52	71.67	46.54	1,071			
Apr-19	22.23	5.74	63.82	44.58	982	Cal21	26.15	10.70	79.02	48.20	1,152			
May-19	22.32	5.92	64.23	44.70	987	Cal22	28.38	12.19	86.34	49.97	1,234			
Jun-19	22.41	6.08	64.63	44.82	992	Cal23	31.55	13.01	95.45	51.73	1,331			
Jul-19	22.53	6.24	65.11	44.94	997	Cal24	36.15	13.68	108.14	53.55	1,459			
Aug-19	22.63	6.40	65.53	45.06	1,002	Cal25	38.91	14.35	116.01	55.44	1,546			
Sep-19	22.76	6.57	66.03	45.18	1,008	Fuel cycle curves are calculated by taking the lowest of two separate curves, the spot curve adjusted forward using the S&P BBB Credit curve and the inflation swap adjusted base escalated forward curve. A further factor is also overlaid to account for live market prices and transactions								
Oct-19	22.90	6.73	66.56	45.31	1,014									
Nov-19	23.02	6.89	67.04	45.43	1,019									
Dec-19	23.14	7.05	67.51	45.56	1,025									
Jan-20	23.26	7.22	67.99	45.69	1,030									
Feb-20	23.38	7.43	68.52	45.81	1,036	Indications of Loan Rates: Borrowers Credit vs Duration Prices as US\$/Lb/Mth for U3O8, or US\$/KgU/Mth for UF6								
Mar-20	23.51	7.64	69.07	45.94	1,042									
Apr-20	23.63	7.85	69.59	46.07	1,048									
May-20	23.76	8.07	70.15	46.21	1,054									
Jun-20	23.92	8.23	70.73	46.33	1,061									
Jul-20	24.07	8.39	71.28	46.47	1,067	Credit Rating	Loan Duration	U3O8 Loans CMO	UF6 Loans CVD	UNCO	DOE	ARVA		
Aug-20	24.22	8.61	71.89	46.60	1,074	>=A	1m-6m	\$ 0.10	\$ 0.11	\$ 0.10	\$ 0.33	\$ 0.33	\$ 0.33	
							>=A	7m-18m	\$ 0.09	\$ 0.10	\$ 0.09	\$ 0.34	\$ 0.34	\$ 0.34
							>=A	19m-24m	\$ 0.08	\$ 0.09	\$ 0.08	\$ 0.34	\$ 0.34	\$ 0.34
							BBB	1m-6m	\$ 0.11	\$ 0.12	\$ 0.11	\$ 0.37	\$ 0.37	\$ 0.37
							BBB	7m-18m	\$ 0.12	\$ 0.13	\$ 0.12	\$ 0.38	\$ 0.38	\$ 0.38
							BBB	19m-24m	\$ 0.14	\$ 0.14	\$ 0.14	\$ 0.38	\$ 0.38	\$ 0.38

Valuation of Ceilings within Market Related Term Contracts
Delivery Date by Ceiling Level. Price Indications in US\$/lb

	\$ 21.00	\$ 22.00	\$ 23.00	\$ 25.00	\$ 30.00	\$ 30.00	\$ 40.00
Feb-18	\$ 0.86	\$ 0.50	\$ 0.27	\$ 0.06	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Jun-18	\$ 1.38	\$ 0.95	\$ 0.63	\$ 0.25	\$ 0.02	\$ 0.02	\$ 0.00
Aug-18	\$ 1.62	\$ 1.17	\$ 0.82	\$ 0.38	\$ 0.04	\$ 0.04	\$ 0.00
Nov-18	\$ 1.99	\$ 1.51	\$ 1.12	\$ 0.58	\$ 0.09	\$ 0.09	\$ 0.00
Dec-18	\$ 2.10	\$ 1.61	\$ 1.22	\$ 0.65	\$ 0.11	\$ 0.11	\$ 0.00
Jul-19	\$ 2.83	\$ 2.30	\$ 1.84	\$ 1.14	\$ 0.29	\$ 0.29	\$ 0.01
Nov-19	\$ 3.28	\$ 2.71	\$ 2.22	\$ 1.45	\$ 0.44	\$ 0.44	\$ 0.03
May-20	\$ 3.94	\$ 3.34	\$ 2.80	\$ 1.94	\$ 0.69	\$ 0.69	\$ 0.06

Valuation of Floors within Market Related Term Contracts
Delivery Date by Ceiling Level. Price Indications in US\$/lb

	\$ 17.00	\$ 17.50	\$ 18.00	\$ 18.50	\$ 19.00	\$ 19.50	\$ 20.00
Feb-18	\$ 0.04	\$ 0.07	\$ 0.12	\$ 0.19	\$ 0.29	\$ 0.43	\$ 0.61
Jun-18	\$ 0.13	\$ 0.19	\$ 0.28	\$ 0.38	\$ 0.51	\$ 0.66	\$ 0.85
Aug-18	\$ 0.17	\$ 0.24	\$ 0.33	\$ 0.44	\$ 0.57	\$ 0.73	\$ 0.91
Nov-18	\$ 0.21	\$ 0.28	\$ 0.37	\$ 0.49	\$ 0.62	\$ 0.77	\$ 0.95
Dec-18	\$ 0.22	\$ 0.30	\$ 0.39	\$ 0.50	\$ 0.63	\$ 0.79	\$ 0.96
Jul-19	\$ 0.28	\$ 0.36	\$ 0.46	\$ 0.57	\$ 0.70	\$ 0.85	\$ 1.02
Nov-19	\$ 0.29	\$ 0.37	\$ 0.47	\$ 0.58	\$ 0.70	\$ 0.84	\$ 1.00
May-20	\$ 0.30	\$ 0.37	\$ 0.46	\$ 0.56	\$ 0.68	\$ 0.81	\$ 0.96

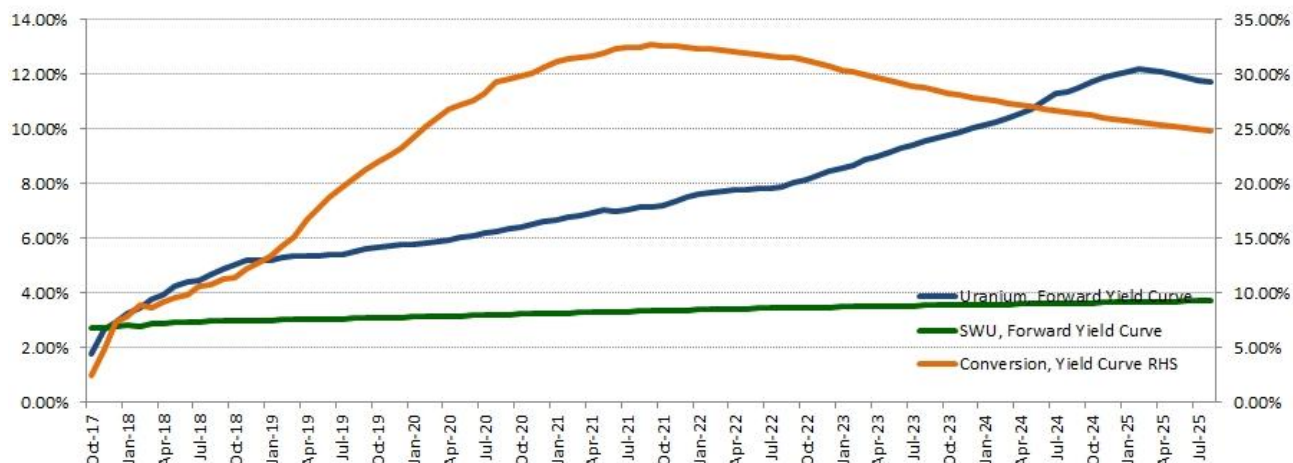
Indications of Loan Rates: Borrowers Credit vs Duration
Prices as US\$/Lb/Mth for U3O8, or US\$/KgU/Mth for UF6

Credit Rating	Loan Duration	U3O8 Loans CMO	CVD	CMX	UNCO	DOE	ARVA
>=A	1m-6m	\$ 0.10	\$ 0.11	\$ 0.10	\$ 0.33	\$ 0.33	\$ 0.33
>=A	7m-18m	\$ 0.09	\$ 0.10	\$ 0.09	\$ 0.34	\$ 0.34	\$ 0.34
>=A	19m-24m	\$ 0.08	\$ 0.09	\$ 0.08	\$ 0.34	\$ 0.34	\$ 0.34
BBB	1m-6m	\$ 0.11	\$ 0.12	\$ 0.11	\$ 0.37	\$ 0.37	\$ 0.37
BBB	7m-18m	\$ 0.12	\$ 0.13	\$ 0.12	\$ 0.38	\$ 0.38	\$ 0.38
BBB	19m-24m	\$ 0.14	\$ 0.14	\$ 0.14	\$ 0.38	\$ 0.38	\$ 0.38

For further information please contact :
Scott Lawrence, Nuclear Fuel Sourcing & Supply
Tel : +44 20 8004 3302 Mob: +44 7721 656 656

Fuente: Numerco 11-Oct-17

Tabla 17: Indicaciones de precios fijos para entrega futura



Fuente: Numerco 11-Oct-17

Figura N° 8: Curvas de Rendimiento Futuro

Por otro lado, es posible comprar y vender un contrato de uranio a futuro (en la forma de U3O8) a través de la Bolsa Mercantil de Nueva York (NYMEX). Su nombre oficial es UxC U3O8 Futures – y el símbolo para el uranio es UX. El precio de liquidación del contrato se basa en el índice de la empresa consultora UxC.

La importación de uranio exige, en determinadas circunstancias, realizar grandes erogaciones para aprovechar los mejores precios, dadas las fluctuaciones del mercado, o para comprometer con mucha antelación cantidades importantes para asegurar la provisión.

5 Capítulo 5

5.1 Evaluación Económica

Para poder realizar una evaluación económica estimativa se trabajó con los precios del mercado spot proporcionados en una planilla excel por numerco.com. Estos datos tienen fecha de referencia desde octubre 2017 con proyección hasta octubre del 2032 indicando los precios spot de:

- U3O8 [\$/lb]
- Conversión [\$/kg]
- UF6 [\$/kg]
- Enriquecimiento [\$/SWU]

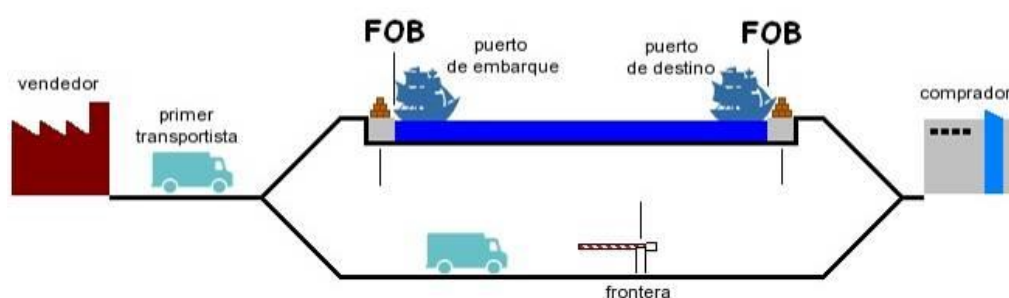
Respecto al Costo Futuro de la Gestión de Residuos en el Procesado de Uranio y en el Enriquecimiento, al no poseer datos se decidió trabajar en forma proporcional con el Costo Nominal del proceso correspondiente.

Para realizar un análisis de beneficios-desventajas de producir uranio en el país debe considerarse que el mercado de este mineral en el mundo difiere del resto de las materias primas, ya que no solo debe evaluarse su precio “spot” (actualmente en torno a 53.30 US\$/kg) sino también considerar los costos de transporte, seguros y tasas que la Argentina paga, teniendo en cuenta además el contexto del mercado mundial, las proyecciones a futuro, la tecnología disponible y los marcos legales.[17][18]

Durante 2015 Argentina importó uranio a un precio promedio FOB de 172,4 US\$/kgU [17], y durante el 2016 la Argentina importó un total de 106661 kilos de uranio natural por un valor de US\$ 13,7 millones, a un promedio de US\$ 129 por kilo; mientras que de uranio enriquecido se compraron 8477 kilos por un total de US\$ 8,9 millones a US\$ 1060 por kilo en promedio [18].

En el capítulo 2.1 se indicaba que los recursos identificados en la Argentina en la categoría de costos de producción <US\$ 130 / kgU, que haciendo la comparación con el último dato presentado de US\$ 129/ kgU la valuación económica no sería un limitante a la hora de decidir por el autoabastecimiento.

Para realizar el cálculo en la comparación entre el precio promedio de importación FOB y el precio internacional del uranio, se utilizó 178 US\$/kgU como precio FOB en el año 2017 y se trabajó con una variación del precio en forma proporcional hasta el año 2032 (Figura N° 9).



Fuente: <http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-precio-fob.html>

Figura N° 9: Transferencia del riesgo del vendedor al comprador.

En la Figura N° 10 se aprecia como el precio promedio de importación estimado supera aproximadamente el doble del precio spot.

En el Anexo 2 se presentan las tablas evaluación de costos para las seis centrales desde 2017 al año 2032, atento a los datos disponibles en Numerco.

AÑO	TOTAL PRECIO SPOT		TOTAL PRECIO FOB	
	US\$	MMUS\$	US\$	MMUS\$
2017	\$ 11.374.573,51	\$ 11,37	\$ 23.616.753,42	\$ 23,62
2018	\$ 20.045.230,28	\$ 20,05	\$ 41.890.199,01	\$ 41,89
2019	\$ 17.481.414,90	\$ 17,48	\$ 36.633.261,51	\$ 36,63
2020	\$ 20.504.328,86	\$ 20,50	\$ 41.454.468,96	\$ 41,45
2021	\$ 27.129.669,44	\$ 27,13	\$ 52.529.112,83	\$ 52,53
2022	\$ 29.520.575,64	\$ 29,52	\$ 56.977.612,44	\$ 56,98
2023	\$ 32.498.901,20	\$ 32,50	\$ 63.106.543,75	\$ 63,11
2024	\$ 51.048.300,28	\$ 51,05	\$ 101.425.926,58	\$ 101,43
2025	\$ 55.210.945,12	\$ 55,21	\$ 110.169.908,84	\$ 110,17
2026	\$ 102.712.756,22	\$ 102,71	\$ 186.469.248,09	\$ 186,47
2027	\$ 105.205.070,03	\$ 105,21	\$ 190.348.946,81	\$ 190,35
2028	\$ 107.592.921,96	\$ 107,59	\$ 194.146.098,75	\$ 194,15
2029	\$ 109.888.187,18	\$ 109,89	\$ 197.907.873,50	\$ 197,91
2030	\$ 112.118.317,11	\$ 112,12	\$ 201.543.862,67	\$ 201,54
2031	\$ 106.492.105,31	\$ 106,49	\$ 190.018.663,45	\$ 190,02
2032	\$ 108.388.527,45	\$ 108,39	\$ 193.085.876,64	\$ 193,09

Tabla 18: Comparación del Precio Internacional y Precio de Importación Argentino del UOC (en destino)

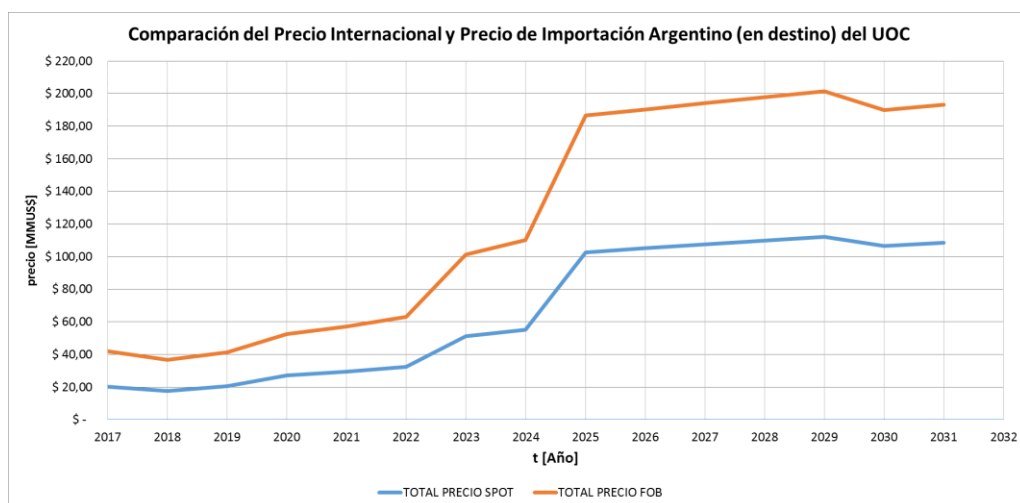


Figura N° 10: Comparación del Precio Internacional y Precio de Importación Argentino del UOC (en destino)

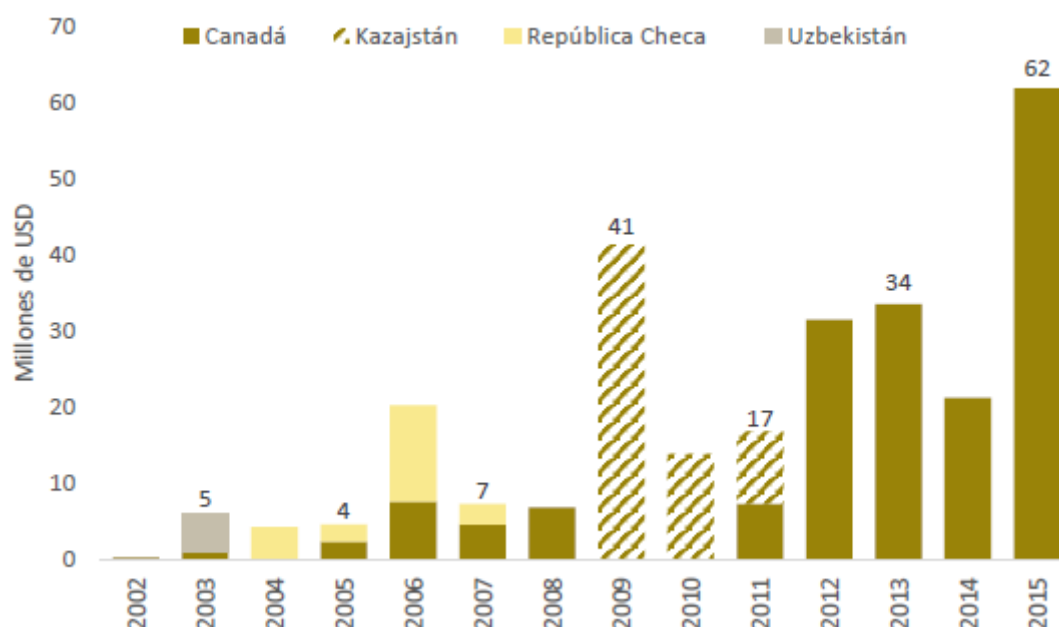
6 Capítulo 6

6.1 Provisión de Uranio

6.1.1 Importación de Canadá, Kazajistán [17]

Los tres reactores argentinos, Atucha I, Atucha II y Embalse, funcionando a plena potencia consumen aproximadamente 250 toneladas de Uranio y para cubrir esta demanda en los últimos años la Argentina ha importado uranio de Canadá, Kazajistán, República Checa y Uzbekistán (Figura N° 11).

De las 250 tU, 220 tU son de uranio natural (99,3% de U238 y 0,7% de U235) y las 30 tU restantes son las que se necesitan para el ULE que utiliza Atucha I. Para generar el combustible, se importa el concentrado de óxidos de Uranio (UOC o yellowcake), el cual es el producto final de una mina contiene aproximadamente un 75-80 % de U natural. Este concentrado es purificado químicamente a UO2 en Dioxitek S.A. (Córdoba) y luego transportado a CONUAR S.A. (Ezeiza) en donde el NU (uranio natural 0,7% U-235) se mezcla con una pequeña cantidad de LEU (Uranio Levemente Enriquecido) importado (3-4% U-235) para manufacturar el combustible de Atucha I. Para el funcionamiento de Embalse y Atucha II se usa sólo U natural.



Fuente: Situación actual y perspectivas, Diciembre 2016. Ministerio de Energía y Minería – Presidencia de la Nación

Figura N° 11: Evolución de importaciones de uranio argentinas y país de origen (2002-2015)

Argentina importó, en 2016, un total de 106661 kilos de uranio natural por un valor de US\$ 13,7 millones, a un promedio de US\$ 129 por kilo; mientras que de uranio enriquecido se compraron 8477 kilos por un total de US\$ 8,9 millones a US\$ 1060 por kilo en promedio.[18]

6.1.2 Perspectivas de Importación del Paraguay y Brasil

6.1.2.1 Paraguay [9][10][11]

En Paraguay los depósitos de uranio conocidos se encuentran en la parte oriental del país, uno de ellos cerca de la ciudad de Yuti, y otro, al noreste de la ciudad de Coronel Oviedo, con potencial de convertirse en un nuevo distrito de uranio (Figura N° 12). Ambos depósitos están hospedados por las areniscas de la cuenca del Paraná.



Fuente: Economic and Social Council - ECE/ENERGY/GE.3/2016/10

Figura N° 12: Localización de sitios conocidos de uranio al Este de Paraguay. [9]

En las Tabla 19 y 20 se encuentran tabulados los recursos de uranio correspondientes a estos proyectos. Hasta la fecha, la minería de uranio no se ha emprendido en el Paraguay.

Depósito	Tipo	Mineral	Grado	Pounds*
		[Millón t]	% U ₃ O ₈	U ₃ O ₈
Yuti (Uranium Energy Corp) NI 43-101 Recursos	Arenisca	Medido		
		2,054	0,062	2801000
		Indicado		
		5,783	0,048	6113000
		Inferido		
		2,139	0,047	2226000
Coronel Oviedo (Uranium Energy Corp) NI 43-101 Objetivo de Exploración	Arenisca	Rango Objetivo de Exploración		
		26,3	0,04	23100000
		a	a	a
		48,9	0,052	56000000

*1tU = 2, 6 lb U₃O₈

Fuente: Economic and Social Council - ECE/ENERGY/GE.3/2016/10

Tabla 19: Recursos de Uranio en Paraguay [9]

Fechas de vigencia: Yuti - 24 de agosto de 2011 y Coronel Oviedo – 15 de Octubre de 2012

Proyecto	Clase UNFC - 2009	Sub - Clase UNFC - 2009	Categoría UNFC - 2009	Recursos [tU]	NEA/IAEA Estado del Centro Producción	Clasificación NEA/IAEA	Recursos [tU]	Total [tU]
Yuty	Proyecto Potencialmente Comercial	Desarrollo Pendiente	E2 F2.1 G1	1080	Prospectiva	RAR <\$130/kgU	3430	4290
			E2 F2.1 G2	2350		IR <\$130/KgU	860	
			E2 F2.1 G3	860				
Coronel Oviedo	Proyecto de Exploración		E3.2 F3.1 G4	8900	---	PR	8900	8900
				a			a	a
				21500			21500	21500

RAR = Recursos Razonablemente Asegurados

IR = Recursos Inferidos

PR = Recursos Pronosticados

Fuente: Economic and Social Council - ECE/ENERGY/GE.3/2016/10

Tabla 20: Recursos de Uranio en Paraguay mostrados en los esquemas de clasificación UNFC-2009 – NEA/IAEA [9]

Fechas de vigencia: Yuti - 24 de agosto de 2011 y Coronel Oviedo – 15 de Octubre de 2012

6.2 Brasil[13][14][15]

La compañía Industrias Nucleares de Brasil (INB), vinculada con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones, firmó un acuerdo con la estatal argentina Combustibles Nucleares Argentinos (Conuar) para enviar cuatro toneladas de polvo de dióxido de uranio para la carga inicial de abastecimiento de un reactor nuclear en la ciudad de Lima, al norte de Buenos Aires.

El contrato entre ambas empresas, que tiene un valor de 4,5 millones de dólares, fue firmado en junio del 2016. Es la primera vez que INB exporta uranio enriquecido en su planta ubicada en Río de Janeiro. Las cuatro toneladas del producto son divididas en tres lotes, con niveles de enriquecimiento de 1,9%, 2,6% y 3,1%.

El acuerdo con Argentina **no implica intercambio de conocimientos**, ya que prevé la entrega del producto terminado, aunque no cierra del todo esta posibilidad. Los programas nucleares de ambos países se iniciaron en la década de 1960.

El presidente de INB también destacó que está casi cerrada la negociación con Argentina para una nueva exportación en 2017.

La exportación de uranio metálico puede llegar a ser 40 veces más caro que el uranio natural, según Tupinambá, pero en el caso de Brasil existen ventajas que lo hacen visible. "Argentina es el socio preferente, porque tiene toda esa facilidad de que usted pueda transportar por la vía terrestre y también porque tenemos una limitación en nuestra capacidad de producción. Entonces al principio, la gente está pensando sólo en consolidar esa posición junto a Argentina, haciendo otras exportaciones, ese es nuestro objetivo".

6.2.1 Principales proyectos para 2018 y 2019 [15]

- Comienzo de la Mina # 9 en URA/Caetité
 - La producción comenzaría en 2018 (212,5 tU/año por 13 años)
- Desarrollo del Estudio de Viabilidad para el Proyecto de Minas Subterráneas en URA / Caetité.
 - La decisión se tomará a inicios del 2019.
- Conclusión de las licencias ambientales y nucleares para el Proyecto Minero de Uranio-Fosfato Santa Quitéria.
 - Expectativa para los estudios ambientales y nucleares previos a la operación en 2018.
 - Producción 1360 tU/año

6.2.2 Futuros proyectos [15]

- 38 anomalías minerales en la provincia mineral de Caetité.
- Expansión de la planta de producción de uranio de Caetité (680 tU/año)
- Operación del reactor Angra 3 en 2026.

Si se plantea en Brasil un escenario en el 2026 de tres centrales nucleares funcionando a plena potencia.

- Angra I: 700 MW
- Angra II: 1350 MW
- Angra III: 1350 MW

Con un requerimiento aproximado de 639.2 tU/año y una producción de 2040 tU/año (680 tU/año + 1360 tU/año)

Estos datos permiten observar que Brasil podría en un futuro próximo satisfacer las necesidades domésticas a mediano plazo y además disponer de excedentes para la exportación.

Las reservas están concentradas en los estados de Bahía y Ceará (noreste), Minas Gerais (sureste) y Paraná (sur) con cerca de 309000 toneladas de concentrado de uranio.

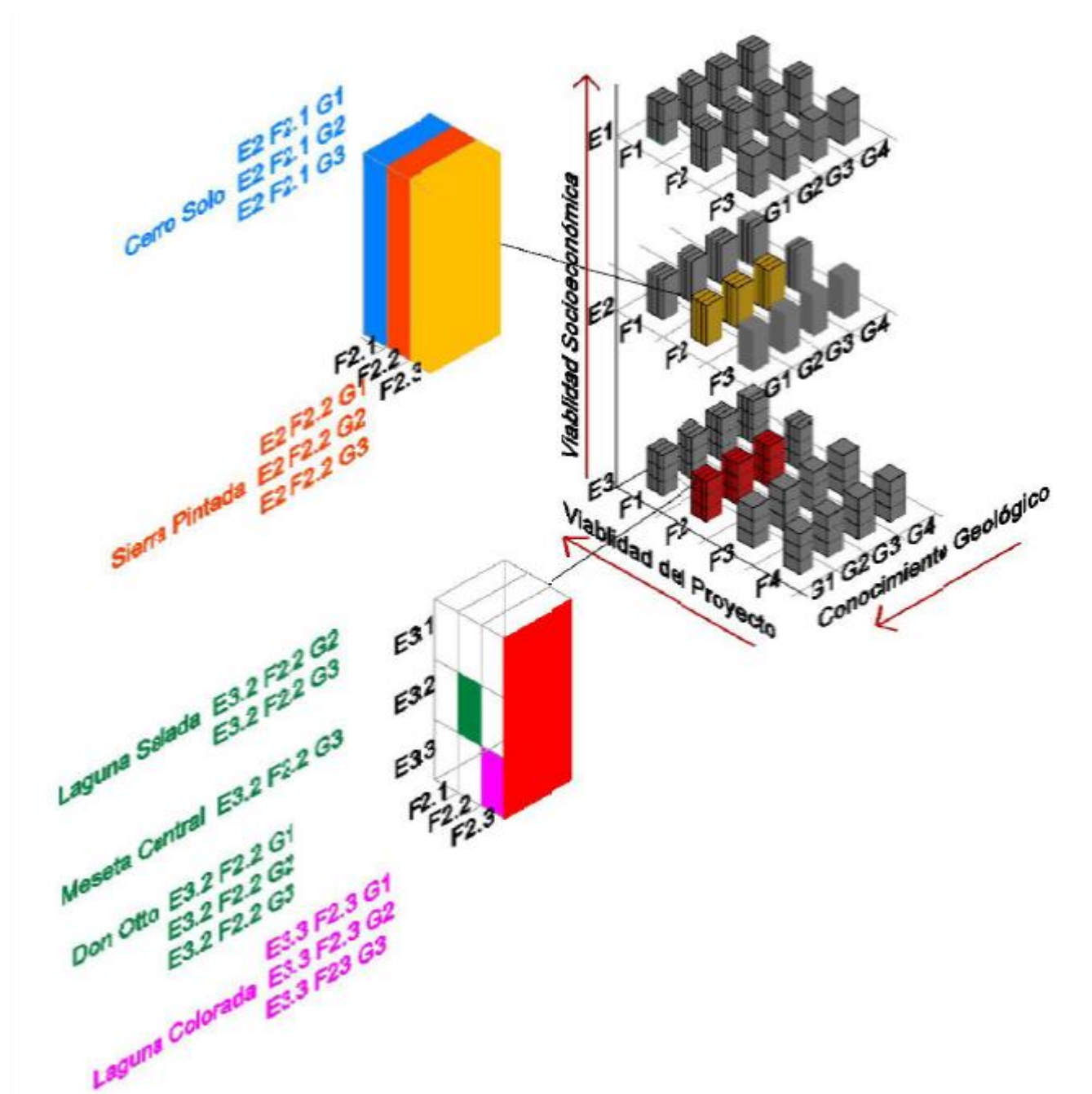
6.3 Producción Local [3]

Para evaluar la oferta de recursos de uranio que dispone el país se considera como recursos identificados los depósitos de Cerro Solo de **9230 tU** y Sierra Pintada de **10010 tU**.

Los recursos identificados en el Proyecto Laguna Salada hasta el momento han sido valuados en **3880 tU**, la evaluación económica preliminar del proyecto por parte de U3O8 Corporation indica que se debe continuar con actividades de exploración para aumentar los recursos y conocimiento geológico, con el objeto de poder mover el proyecto a un nivel más alto en la clasificación de la UNFC-2009 como “proyecto potencialmente comercial”.

Según el informe de UrAmérica Ltd. se concluyó que aún faltan hacer estudios geológicos e hidrológicos para determinar la viabilidad socioeconómica del Proyecto Meseta Central, aun así los recursos inferidos totales para este proyecto son de **7350 tU**.

El depósito Don Otto a pesar de haber estado en funcionamiento, se lo clasifica como “proyecto no comercial” el desarrollo no está aclarado, al igual que el Proyecto Laguna Salada deben continuarse con los estudios de exploración para poder mover el proyecto a un nivel más alto de Clase UNFC-2009.



Fuente: Elaboración propia con base en el esquema de clasificación UNFC

Figura N° 13: Clasificación de los recursos de uranio nacionales según UNFC

7 Capítulo 7

7.1 Transporte

7.1.1 Trayectos

A continuación se detallan los trayectos que debería realizar la materia prima utilizando transporte por carretera y por modo fluvial con el programa de uso libre “Google Earth Pro”. Además se evalúa la posibilidad de transporte por ferrocarril.

Rutas:

- Puerto de Buenos Aires hasta la planta de Dioxitek SA – Córdoba
- Puerto de Buenos Aires hasta la planta de Dioxitek SA – Formosa
- Sitio Minero Cerro Solo (Chubut) hasta la planta de Dioxitek SA – Formosa
- Sitio Minero Sierra Pintada (Mendoza) hasta la planta de Dioxitek SA – Formosa
- Dioxitek SA – Córdoba hasta la planta de Conuar – Ezeiza
- Dioxitek SA – Formosa hasta la de Conuar – Ezeiza

Luego de estudiar las condiciones de transporte de material nuclear, impuestas en el marco legal de las provincias que serán parte del itinerario de ruta para llegar a destino (Anexo 3), es que se evalúan los recorridos y distancias aproximadas, desde el lugar de origen de la materia prima hasta su destino último.

En el caso de que la ruta para el transporte de la materia prima deba cruzar por la provincia del Chaco, cuya ley provincial N°3902 establece que el territorio de la provincia como **“Zona No Nuclear”** y declara prohibida la circulación de cualquier material susceptible de ser utilizado en el ciclo nuclear. Por este motivo se propone una ruta alternativa cuyo condicionante sea que no atraviese la provincia del Chaco ni la provincia de Córdoba. Es última restricción fue impuesta en la nueva opción de trayecto debido a que la población de Córdoba ha estado pidiendo desde 1985 el traslado de la planta de Dioxitek SA y parece conveniente retirar la marca de la empresa de la provincia para evitar confusión y con ello el malestar de los ciudadanos.

Otra opción que se evalúa es el transporte multimodal del UOC, desde los sitios mineros, Sierra Pintada y Cerro Solo hasta Dioxitek SA en la provincia de Formosa y el transporte de UO2 desde Dioxitek SA Formosa hasta Conuar– Ezeiza.

7.1.1.1 Puerto de Buenos Aires hasta la planta de Dioxitek SA – Córdoba

En la Tabla 21 se observa que la diferencia en kilómetros de elegir el trayecto directo o la alternativa es de aproximadamente 100 km y no reviste de mayores inconvenientes

Origen	Destino	Ruta	Distancia [km]	
			Directa	Alternativa
Puerto Buenos Aires	Dioxitek SA - Córdoba	Au 9/Au Córdoba - Rosario	698	805
			Buenos Aires	Buenos Aires
		RN9 y Au 9/Au Córdoba - Rosario	Santa Fe	Entre Ríos
			Córdoba	Santa Fe
				Córdoba

Tabla 21: Rutas Puerto de Buenos Aires – Dioxitek SA (Córdoba)

7.1.1.2 Puerto de Buenos Aires hasta la planta de Dioxitek SA – Formosa

En la Tabla 22 se indica las distancias y las provincias que debe recorrer el transporte desde el punto de origen hasta el punto de destino, considerando la ruta directa y la alternativa que surge de los condicionantes antes impuestos. La distancia adicional que se debe recorrer para evitar cruzar las dos provincias citadas, Chaco y Córdoba, es aproximadamente de 1200 km.

Origen	Destino	Ruta	Distancia [km]	
			Directa	Alternativa
Puerto Buenos Aires	Dioxitek SA - Formosa	RN14	1140	2351
			Buenos Aires	Buenos Aires
			Entre Ríos	Santa Fe
		RN34 y RN81	Corrientes	Sgo. del Estero
			Chaco	Tucumán
			Formosa	Salta
				Formosa

Tabla 22: Rutas Puerto de Buenos Aires – Dioxitek SA (Formosa)

7.1.1.3 Sitio Minero Cerro Solo (Chubut) hasta la planta de Dioxitek SA – Formosa

La Tabla 23 muestra la ruta más extensa planteada en el trabajo ya que debe transitar desde el sitio Cerro Solo, provincia de Chubut, hasta Dioxitek SA – Formosa, 3800 km. Debido a su longitud es que se considera que será necesario establecer estaciones de descanso, talleres de reparación y/o estaciones de transferencia intermedias. En este caso la diferencia entre la ruta directa y la alternativa es de 1000 km aproximadamente.

Origen	Destino	Ruta	Distancia [km]		Alternativa
			Directa		
Cerro Solo - Chubut	Dioxitek SA - Formosa	RN 11	2788	2866	3824
			Chubut	Chubut	Chubut
		RN5	Río Negro	Río Negro	Río Negro
			La Pampa	La Pampa	La Pampa
		RN35 y RN81	Buenos Aires	Buenos Aires	San Luis
			Santa Fe	Entre Ríos	La Rioja
			Chaco	Corrientes	Catamarca
			Formosa	Chaco	Tucumán
				Formosa	Salta
					Formosa

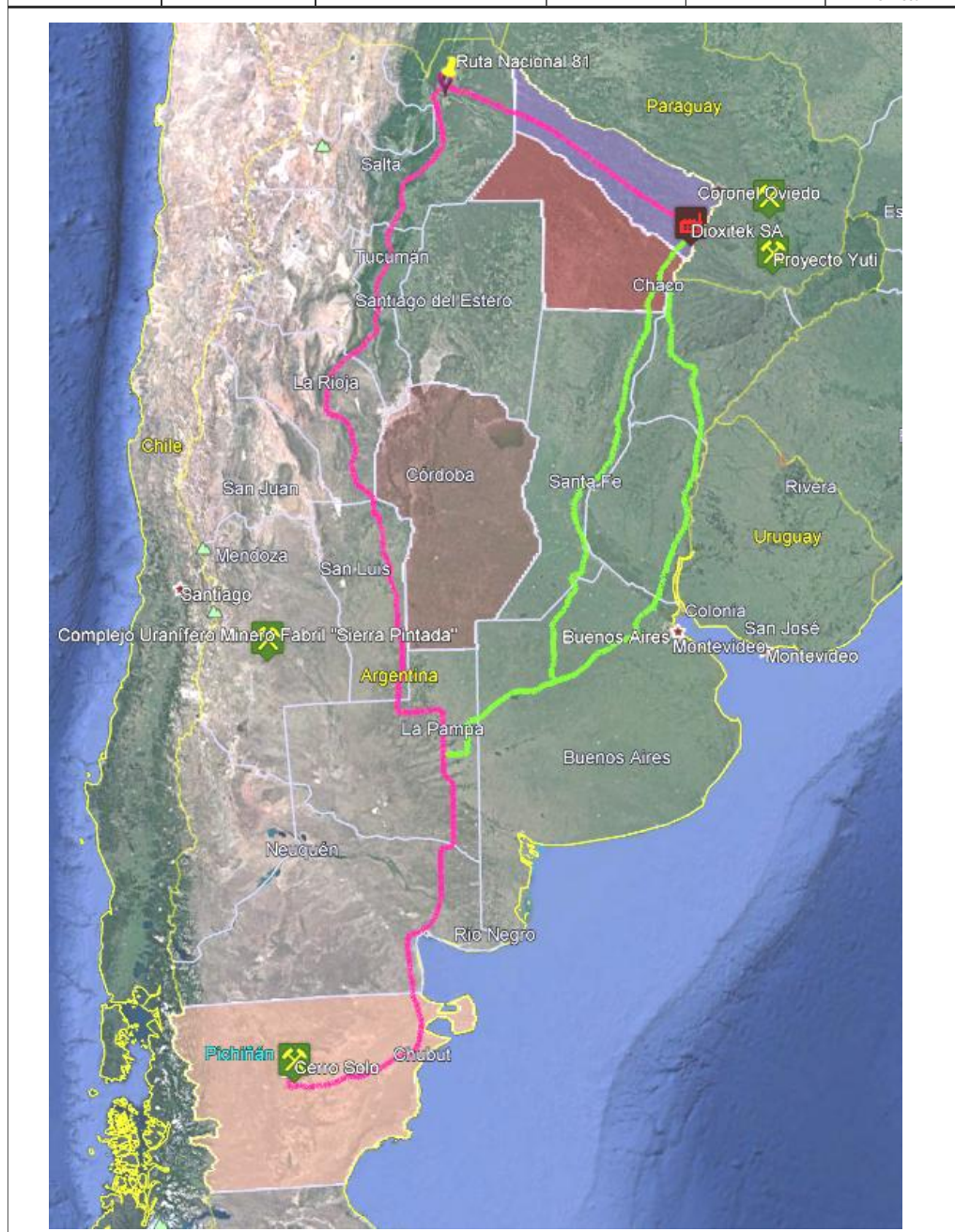


Tabla 23: Rutas Cerro Solo (Chubut) – Dioxitek SA (Formosa)

7.1.1.4 Sitio Minero Sierra Pintada (Mendoza) hasta la planta de Dioxitek SA – Formosa

En la Tabla 24 se observa que las rutas directas además de atravesar la provincia del Chaco, pasan por la provincia de Córdoba. Ambas provincias fueron establecidas como condiciones limitantes al momento de realizar la traza de la ruta desde el sitio de Sierra Pintada hasta la planta de producción, por lo que se presenta una ruta alternativa que debe recorrer una distancia adicional de aproximadamente 600 km con respecto de las rutas directas.

Origen	Destino	Ruta	Distancia [km]		Alternativa
			Directa		
Sierra Pintada - Mendoza	Dioxitek SA - Formosa	RN11	1791	1792	2399
			Mendoza	Mendoza	Mendoza
		RN95	San Luis	San Luis	San Luis
			Córdoba	Córdoba	La Rioja
		RN38 y RN81	Santa Fe	Santa Fe	Catamarca
			Chaco	Chaco	Tucumán
			Formosa	Formosa	Salta
					Formosa

Tabla 24: Rutas Sierra Pintada (Mendoza) – Dioxitek SA (Formosa)

7.1.1.5 Dioxitek SA – Córdoba hasta la planta de Conuar – Ezeiza

Origen	Destino	Ruta	Distancia [km]
			Directa
Dioxitek SA - Córdoba	Conuar - Ezeiza	RN9 y Au 9/Au Córdoba - Rosario	722
			Buenos Aires
			Santa Fe
			Córdoba



Tabla 25: Ruta Dioxitek SA (Córdoba) – Conuar (Ezeiza)

7.1.1.6 Dioxitek SA – Formosa hasta la de Conuar – Ezeiza

Como puede observarse en la Tabla 26 las dos rutas directas que ofrece el programa Google Earth atraviesan la provincia del Chaco para llegar a la planta de producción, es por ello que se presenta una nueva ruta alternativa que cruza longitudinalmente la provincia de Formosa hasta llegar a Dioxitek SA. La distancia adicional que se debe recorrer es 1200 km aproximadamente.

Origen	Destino	Ruta	Distancia [km]		
			Directa		Alternativa
Dioxitek SA - Formosa	Conuar - Ezeiza	RP1 y RN11	1195	1115	2376
			Buenos Aires	Buenos Aires	Buenos Aires
		RN14	Santa Fe	Entre Ríos	Santa Fe
			Chaco	Corrientes	Sgo. del Estero
		RN81, RN34 y RN9	Formosa	Chaco	Tucumán
				Formosa	Salta
					Formosa

Tabla 26: Dioxitek SA (Formosa) – Conuar SA (Ezeiza)

7.1.1.7 Transporte Multimodal e Intermodal [31][40][41]

A continuación se propone como alternativa el transporte multimodal, para ello se exponen las fortalezas y debilidades de cada modo de transporte posible para el traslado de materias primas en la Argentina.

Aunque hoy en el país se encuentra vigente la ley 24921 relativa al transporte multimodal de mercaderías junto con el Acuerdo sobre Transporte Multimodal en el ámbito del MERCOSUR, el registro de operadores¹ de transporte multimodal no está reglamentado [39].

Lo siguiente intentará evidenciar la necesidad de una política de transporte intermodal, con el objeto de optimizar el costo total para poder trasladar una carga de origen a destino.

7.1.1.7.1 Transporte Multimodal [31][40][41]

El **transporte multimodal** está definido como la articulación entre diferentes modos de transporte, a fin de realizar de manera efectiva las operaciones de transbordo de materia prima y/o producto terminado desde su lugar de origen hasta su destino final.

Este modo permite emplear un único operador, denominado operador de transporte multimodal (OTM) y un único contrato de transporte para gestionar toda la operativa, independientemente de los medios de transporte utilizados.

¹ Operador de Transporte Multimodal (OTM): Persona que efectúa un contrato de transporte multimodal, y que asume la responsabilidad de su cumplimiento

Ventajas:

- En conjunto, los costes y el tiempo de operación se reduce.
- Solo hay un interlocutor, por lo que existe un menor riesgo de pérdida o robo de la mercancía. Es decir, hay un mayor control sobre la mercancía.
- La programación completa del transporte, ruta, costes, recursos humanos y logísticos, son más sencillos.
- Sólo se utiliza un único documento o conocimiento de transporte multimodal que sirve para todos los transportes. Este documento es FIATA Bill of Lading (FBL). Requiere de la intervención de un intermediario entre el cargador y transportistas. El documento aduanero FBL tiene preferencia de ingreso y paso por las aduana, ya que se autoriza el mismo día.

Inconvenientes:

- Limitaciones legales y operativas en el momento de aplicar la normativa internacional.
- Las inspecciones en terminales pueden limitar este tipo de operaciones.
- Existe una carencia de infraestructuras para facilitar el transporte intermodal. No se invierte en ampliar la oferta de este servicio.

7.1.1.7.2 Transporte Intermodal

El **transporte intermodal** es un modelo de multimodalidad y se define como el movimiento de mercancías en una misma unidad logística o vehículo usando de manera sucesiva dos o más modos de transporte sin manipular la mercancía en los procesos de intercambio modal. Asimismo, es una técnica para asegurar un servicio puerta a puerta sin manipulación de los materiales, y sin que se produzca rotura de carga.

- a) Utiliza mínimo dos modos de transporte, mediante un contrato de transporte intermodal. Se habilita un documento en cada tramo donde llegue el transporte.
- b) Operaciones de trasbordo de mercancías más rápida y eficaz.
- c) Medida de carga más usual: contenedores semirremolques o las cajas móviles agrupar las mercancías en "Unidades de carga" para reducir la manipulación, evitar la rotura de la carga en el momento de manipulación de mercancías de un medio de transporte a otro.

Ventajas:

- Cada transportador emite su propio documento, no hay uno común, y cada uno responde de forma individual por su servicio.
- Los precios se acuerdan previamente, por lo que suelen ser costes más bajos, ya que se combinan según necesidades.
- Las inspecciones son menores, puesto que los contenedores se precintan. Como consecuencia, se agiliza todo el proceso.
- Es más seguro. Las unidades de transporte intermodal suponen un abaratamiento de las primas de seguro. Por lo que hay menos robos y menos daños en las mercancías.
- Los tiempos de carga y descarga son menores, al ir en un mismo contenedor, y tienen mayor capacidad.
- Respeta el medio ambiente. Se buscan la combinación de medios de transporte más eficiente, con menor consumo de energía, y por tanto, menos contaminantes.

Inconvenientes:

- La velocidad se reduce al ser prioritaria la reducción de costes.
- La coexistencia de diferentes medios de transporte que responden por sí mismos, supone una menor fiabilidad.

- Las infraestructuras, como grúas para el movimiento de contenedores, son caras.
- Es necesario un gasto adicional en embalaje para mitigar los daños que pueda sufrir la mercancía al moverla de un medio a otro.

Por lo expuesto se puede enunciar que las diferencias más generales de estas modalidades de transporte son: [31]

- El sistema intermodal transporta mercancía de un país a otro utilizando diferentes medios de transporte, pero siempre en contenedores o cajas móviles, sin embargo, el multimodal no exige éstas unidades de transporte.
- El transporte multimodal utiliza un único documento, mientras el intermodal necesita de uno por medio de transporte utilizado.
- El transporte multimodal es más económico, pero el intermodal también es competitivo y ofrece mayor comodidad al usuario.

A pesar de estas diferencias que tienen más relación con lo administrativo optar por cualquiera de estas modalidades se obtendrá como resultado mayor rendimiento en la cadena de abastecimiento de la materia prima. Hay que recordar que la Argentina aplicaba Puro Transporte Intermodal entre 1930 y 1960 (La ruta del azúcar de Jujuy a Rosario y Buenos Aires, para consumo interno y exportación), años que el término no existía.[32]

Para poder establecer una logística de transporte es necesario primeramente realizar una evaluación de la calidad de transporte de los diferentes modos. [32] (Tabla 27)

Criterio de Calidad	Camión	FFCC	Navegación Interior
Velocidad	Muy Alta	Baja	Muy Baja
Potencial “Puerta a Puerta”	Muy Alta	Baja	Muy Baja
Confiabilidad	Muy Alta	Baja	Alta
Seguridad (Robo)	????	Mediana	Alta
Seguridad (Accidentes)	Mediana	Alta	Muy Alta
Flexibilidad	Muy Alta	Baja	Muy Baja
Disponibilidad	Muy Alta	Baja	Baja
Medio Ambiente	Muy Malo	Alta	Muy Bueno
Eficiencia Energía	Muy Baja	Alta	Muy Alta

Fuente: Antonio Zuidwijk [32]

Tabla 27: Evaluación de la Calidad de Transporte de los Diferentes Modos

En la Tabla 28 se observa que en los medios de transporte existe una relación muy directa entre la energía consumida y las emisiones de CO₂. El transporte por carretera, además de ser el que consume más toneladas equivalentes de petróleo, es el que más gases de efecto invernadero emite, alcanzando proporciones de más del 70% de las emisiones tanto en el transporte doméstico como en el total.[42]

MEDIO	ENERGÍA (%)	CO ₂ (%)	
		DOMÉSTICO	TOTAL
Carretera	81,9	94,5	71,4
Aviación	14,2	2,3	12,6
Ferrocarril	2,5	0,9	0,6
Navegación	1,4	2,3	15,4

FUENTE: AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ENERGIE (ADEME), 2008.

Tabla 28: Consumo de energía (millones de toneladas equivalentes de petróleo) y emisiones de CO₂ (millones de toneladas) anuales de los diferentes modos de transporte en Europa (2007) porcentajes. [42]

7.1.1.7.3 Propuestas de transporte multimodal

Luego de la introducción del concepto de transporte multimodal, en el que se indicaron sus ventajas e inconvenientes además de mostrar a través de cuadros una evaluación de tipos de transporte, es que seguidamente se propone como cadena de abastecimiento para un futuro a mediano o largo plazo la combinación de transporte carretera – fluvial.

7.1.1.7.3.1 Carretera – Fluvial

Para esta alternativa se presenta la hidrovía Paraná – Paraguay. (Figura N° 14)



Fuente: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/infraestructura/_archivos/000070_Hidrov%C3%ADas/000010_Hidrov%C3%ADas%20Paran%C3%A1%20Paraguay.pdf; accedido 10/11/2017

Figura N° 14: Hidrovía Paraná – Paraguay

La ruta de traslado del UOC inicia por carretera desde los sitios mineros, Sierra Pintada (Tabla 29) y Cerro Solo (Tabla 30), hasta el puerto de Buenos Aires. Posteriormente sigue desde el puerto de Buenos Aires hasta el puerto de Formosa en barco por la hidrovía Paraguay-Paraná y finalmente, desde el puerto de Formosa a la planta de producción por carretera.

Para el traslado de UO₂ desde Dioxitek SA – Formosa hasta Conuar – Ezeiza se propone el siguiente itinerario:

Trasladar por carretera el UO₂ desde Dioxitek SA – Formosa al puerto de Formosa, seguido del traslado vía barco desde el puerto de Formosa al puerto de Buenos Aires, para completar el circuito desde el puerto de Buenos Aires hasta Conuar – Ezeiza por carretera.

7.1.1.7.3.1.1 Sierra Pintada hasta Dioxitek SA – Formosa

Origen	Destino	Ruta	Transporte	Distancia [km]
Sierra Pintada	Puerto Buenos Aires	RN188	Camión	1020
Puerto Buenos Aires	Puerto Formosa	Rio Paraná y Rio Paraguay	Barco	1274
Puerto Formosa	Dioxitek SA - Formosa	RN11	Camión	22,2
Total				2316,2

Tabla 29: Transporte multimodal del UOC desde Sierra Pintada hasta la planta de producción en la provincia de Formosa

7.1.1.7.3.1.2 Cerro Solo hasta Dioxitek SA – Formosa

Para el transporte de UOC desde Cerro Solo hasta la planta de Dioxitek SA – Formosa se pensó en dos opciones por carretera hasta el puerto de Buenos Aires (Tabla 30) y otra a través del mar Argentino desde Puerto Madryn hasta el puerto de Buenos Aires (Tabla 31) para finalmente llevar desde el puerto de Buenos Aires hasta el puerto de Formosa la materia prima. De examinar estas dos propuestas y primando la reducción del transporte por carretera es que la opción por Mar Argentino es la más favorable, ya que el transporte por carretera demandaría una longitud de 470 km, y no sería necesario establecer estaciones de transferencia, o talleres de reparación mecánica intermedios. Además se reduciría la probabilidad de accidentes, o retrasos por inundaciones o manifestaciones sociales durante el trayecto.

Origen	Destino	Ruta	Transporte	Distancia [km]
Cerro Solo	Puerto Buenos Aires	RN3	Camión	1780
Puerto Buenos Aires	Puerto Formosa	Rio Paraná y Rio Paraguay	Barco	1274
Puerto Formosa	Dioxitek SA - Formosa	RN11	Camión	22,2
Total				3076,2

Tabla 30: Transporte multimodal del UOC desde Cerro Solo hasta la planta de producción en la provincia de Formosa vía terrestre hasta Puerto de Buenos Aires

Origen	Destino	Ruta	Transporte	Distancia [km]
Cerro Solo	Puerto Madryn	RN 25	Camión	470
Puerto Madryn	Puerto Buenos Aires	Mar Argentino	Barco	1514
Puerto Buenos Aires	Dioxitek SA - Formosa	Rio Paraguay y Río Paraná	Barco	1274
Puerto Formosa	Dioxitek SA - Formosa	RN11	Camión	22,2
Total				3280,2



Tabla 31: Transporte multimodal del UOC desde Cerro Solo hasta la planta de producción en la provincia de Formosa por Mar Argentino

7.1.1.7.3.1.3 Dioxitek SA – Formosa hasta Conuar - Ezeiza

Origen	Destino	Ruta	Transporte	Distancia [km]
Dioxitek SA - Formosa	Puerto Formosa	RN11	Camión	22,2
Puerto Formosa	Puerto Buenos Aires	Rio Paraguay y Río Paraná	Barco	1274
Puerto Buenos Aires	Conuar - Ezeiza	Au 25 de mayo y RN A002	Camión	39
Total				1335,2

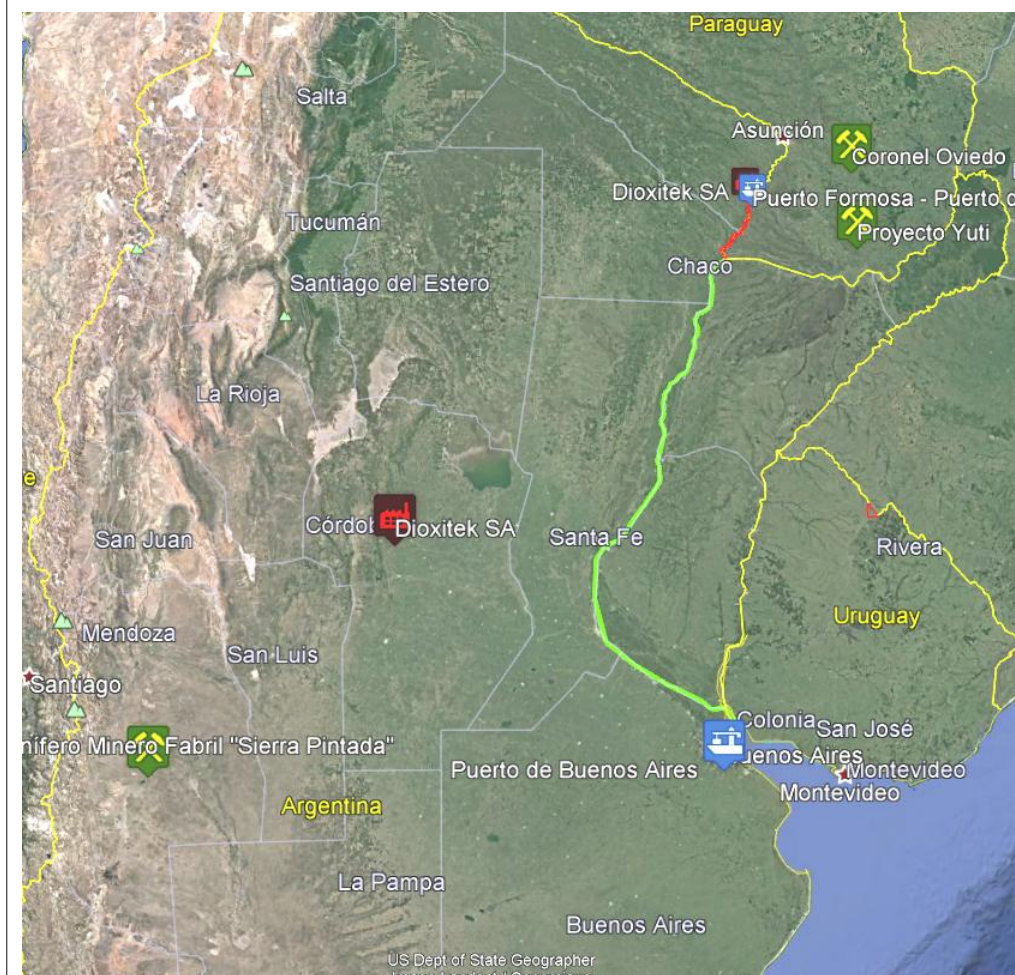


Tabla 32: Transporte multimodal del UO2 desde Dioxitek SA – Formosa hasta Conuar – Ezeiza

7.1.1.7.3.2 FFCC

Actualmente las líneas de FFCC General Manuel Belgrano desde Buenos Aires hasta Formosa (ramal 25) y General San Martín desde San Rafael Mendoza no se encuentran operativas. En la Figura N° 15 las líneas férreas están indicadas con líneas de trazo.

Pero disponer de estas líneas sería una opción atractiva a la hora de reducir kilómetros de carretera por lo que la evaluación económica se centraría más en comparar la rehabilitación y el mantenimiento de las vías de comunicación. En el caso de la hidrovía habría que comparar cuánto cuesta un dragado de apertura y mantenimiento de los canales para diferentes profundidades con los posibles beneficios que darían los fletes de los distintos buques [34]; y en el caso de las líneas férreas, en los trabajos que impliquen la rehabilitación progresiva de las vías y en la sustitución de desvíos antiguos o dañados por otros nuevos.[43]

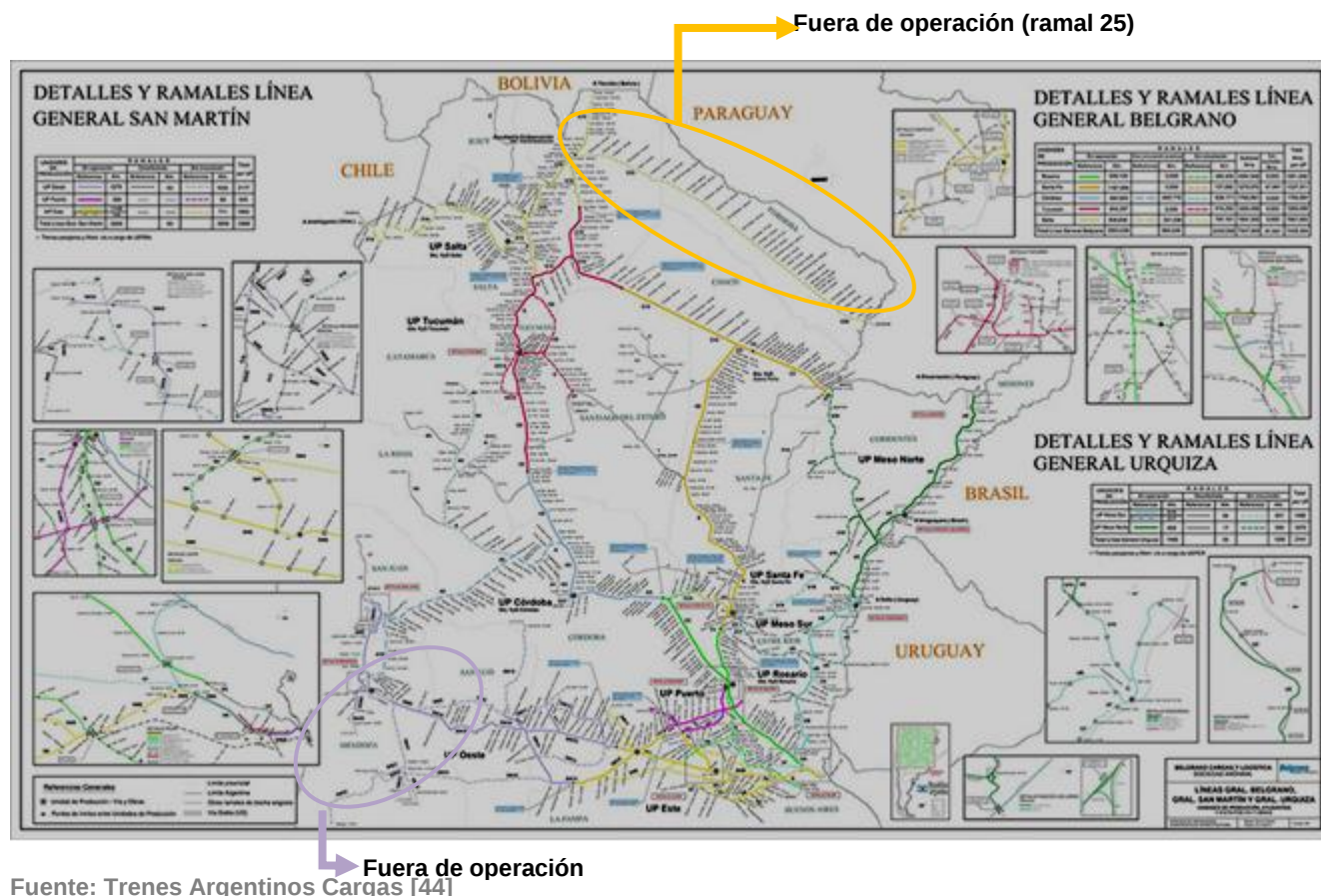


Figura N° 15: Mapa de TRENES ARGENTINOS CARGAS Y LOGÍSTICA.

Con “Políticas de Transporte Intermodal” se usan combinaciones de los distintos modos de la mejor forma posible. Se ha comprobado que el transporte por agua es de por sí (inherentemente) el modo que genera el menor costo para poder llevar una carga de origen a destino. En caso de existir vías navegables naturales, es el modo de transporte que requiere menos gastos de construcción y mantenimiento. Por eso en muchos países con ríos, el transporte por agua es la base del Transporte Intermodal. [35]

De analizar el beneficio de la opción de transporte multimodal se obtiene Tabla 33:

- Menor distancia terrestre recorrida en camiones, aproximadamente 1540 km consecuentemente menor cantidad de peajes.
- Menor probabilidad de accidentes.
- Menores efectos negativos al medio ambiente (emisiones de CO₂).
- Menor demora de traslado de mercancías por congestión, protestas sociales o desvíos por inundaciones o caídas de puentes.
- Mayor capacidad de traslado en barco que en camión. Por ejemplo, un camión semirremolque, incluyendo la tara, puede transportar 27 toneladas, y el Nautic Twin puede trasladar 752 contenedores a máximo calado y un peso de 7.500 toneladas [28] Estos datos indicarían que se podría trasladar el total de UO₂, calculado para los años de mayor demanda de aproximadamente 540 toneladas, en un solo viaje, con la consecuente externalidad de la disminución de accidentes en ruta. En cambio por carretera se necesitarían cerca de 30 camiones.

Ventajas del Transporte Multimodal		
En el País	Para el OTM y el transportador Efectivo:	Para el usuario
Descongestión en los puertos marítimos.	Programación de las actividades	Menores costos en operación total de transporte
Menor costo en control de mercancía.	Programación del uso de vehículos de transporte	Menores tiempos de viaje
Mayor seguridad del recaudo de los tributos.	Programación de ingresos	Programación de despachos y tiempos de viaje
Autocontrol del contrabando.	Continuación de Viaje hasta el destino final.	Programación de inventarios
Reducción en costos de recaudos de Tributos Aduaneros	Carga bien estibada (evitar siniestros)	Certeza en el cumplimiento de la operación
Mayor competitividad del producto en el mercado internacional	A diferencia del Tránsito Aduanero, el OTM no requiere de una SIA (Sociedad de Intermediación Aduanera) para solicitar la Continuación de Viaje. El OTM es Declarante	Tener un solo interlocutor con responsabilidad total.
Menor precio en mercancías importadas para el operador de transporte marítimo y para el transportador efectivo.	El documento de transporte multimodal es reconocido como un documento aduanero	Atención técnica del manejo de la carga
	Tratamiento especial en aduanas de ingreso y de paso. La carga amparada por un Documento de Transporte Multimodal debe ser autorizada para continuar viaje el mismo día que se solicita	Menores riesgos de pérdida por saqueo o robo
		Mejora la capacidad de negociación

Tabla 33: Ventajas del Transporte Multimodal, en el país, para el OTM y el transportador efectivo y para el usuario

Aunque hay considerar que el puerto de cargas de Formosa se encuentra emplazado sobre la margen derecha del Río Paraguay a la altura del km 1444, ubicado en la Hidrovía Paraná-Paraguay, [27]. Debido a este posicionamiento geográfico, es que se deja asentado que se debería estudiar el riesgo asociado a la situación de que ocurra un incidente en aguas internacionales, además de elaborar un plan de contingencia con las medidas de remediación oportunas, y hacer un análisis acerca de las implicancias socio-económicas, ambientales y jurídicas con los países que comparten la hidrovía, observando el marco normativo del Comité Intergubernamental de la Hidrovía Paraguay – Paraná.

7.1.2 Transporte de UOC y UO2 [47] [50] [53]

Luego de haber analizado las posibles rutas y las grandes distancias que debe recorrer el transporte, se abordó la clasificación de los materiales radiactivos, así como los procedimientos de evaluación de transporte, con especial atención a la provisión de un adecuado de embalaje para contener de manera segura el material radiactivo durante la manipulación normal y en condiciones accidentales. También se consideraron los requisitos de transporte que se definen de acuerdo a la actividad y el estado.

Estos movimientos son regulados por las autoridades competentes de las provincias y países respectivos en función del modo de transporte, que se reflejan en acuerdos internacionales, como por ejemplo las Recomendaciones sobre el transporte de Mercancías Peligrosas (ONU. 2013) y el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (OMI, 2012). (Tabla 34)

Vía Utilizada	Norma Aplicada	Autoridad de Aplicación Competente
Terrestre, acuática y aérea	Norma AR 10.16.1 Transporte de materiales radiactivos. Coincide con el Reglamento del Organismo Internacional de Energía Atómica.	Autoridad Regulatoria Nuclear Dependiente de la Presidencia de la Nación
Terrestre (carretera y ferrocarril)	Ley de Tránsito y Seguridad Vial N° 24449 y su Decreto 779/95. Resoluciones.	Ministerio de Transporte. Comisión Nacional de Regulación de Transporte (CNRT)
Acuática	Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas. Organización Marítima Internacional.	Prefectura Naval Argentina
	Reglamento Interno del Comité Intergubernamental De La Hidrovía Paraguay - Paraná	Argentina Bolivia Brasil Paraguay Uruguay
Aérea	Reglamentación sobre Mercancías Peligrosas. Asociación del Transporte Aéreo Internacional	Fuerza Aérea Argentina

Fuente: Elaboración propia con base en la presentación “Transporte de Material Radiactivo, Conceptos Básicos” del profesor Adrián Daud

Tabla 34: Reglamentación del Transporte de Material Radiactivo en Argentina

Tanto el Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos N° TS-R-1 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)[52], como la norma nacional de Transporte de Materiales Radiactivos AR 10.16.1 de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) [49], contienen una clasificación de los materiales radiactivos, así como los procedimientos de evaluación de transporte, cuyo objetivo es establecer requisitos que deben satisfacerse para garantizar la seguridad y proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente de los efectos de las radiaciones en el transporte de materiales radiactivos. Esta protección se logra aplicando los siguientes requisitos:

- la contención del contenido radiactivo;
- el control de los niveles de radiación externa;
- la prevención de la criticidad; y
- la prevención de los daños ocasionados por el calor.

Para ello, se toman una serie de medidas [50]:

1. Se asegura que la contención del material es la adecuada para evitar su dispersión; con este fin se tiene en cuenta la resistencia mecánica del embalaje, la naturaleza y actividad del material transportado.
2. Se controla el nivel de radiación externa utilizando materiales de blindaje en los bultos y advirtiendo de los niveles de radiación en su exterior mediante la correspondiente etiqueta de señalización.
3. Se impide la criticidad mediante un adecuado diseño de los embalajes y con la limitación del contenido de cada bulto y del número de estos por envío.
4. Se evitan los daños producidos por el calor a través del diseño del embalaje y de las condiciones de estiba de los bultos.

Para evitar que los trabajadores que manipulen los bultos tengan que adoptar medidas específicas, la seguridad de transporte se basa en el diseño seguro de los embalajes y **no en el control de esos envíos.**

Los requisitos de seguridad de los embalajes son más estrictos a medida que aumenta el riesgo del material radiactivo que van a contener.

La responsabilidad de la seguridad del transporte se hace recaer, en su mayor parte, en el remitente: utilización de los embalajes idóneos, preparación adecuada de los bultos, cumplimentación de la documentación del envío e información al transportista sobre contenido, sus riesgos, los controles de carga y almacenamiento y las instrucciones de emergencia.

Es responsabilidad de los transportistas el cumplimiento de la reglamentación en cuanto a la formación y requisitos de los conductores y a las condiciones del vehículo, el cumplimiento de las normas de circulación y el seguimiento de todos los procedimientos que se recojan en la documentación que se les entregue.

7.1.2.1 Tipos de Bultos para el Transporte [49][52]

De acuerdo a la Norma AR 10.16.1 (ARN) que es un extracto de la lista de números de las Naciones Unidas y nombres correctos de expedición y descripción, de conformidad con los párrafos de dicha norma es que:

- El uranio natural en la forma UOC es designado
 - UN2910, Material Radiactivo, Bulto Exceptuado.
- El uranio en la forma UO₂
 - UN2912, Material Radiactivo, Baja Actividad Específica (BAE I), no fisiónables o fisiónables exceptuados. En esta forma se transporta en embalajes industriales del tipo 1.

7.1.2.2 Condiciones de Transporte [48]

Están detalladas en la Tabla 35.

Tipo de Bulto	Características Principales
Excepuado	El contenido radiactivo es muy limitado. Cumple los requisitos del buen arte de embalar, solo resiste condiciones rutinarias de transporte. Se debe identificar su contenido como radiactivo solo en el interior.
Industrial Tipo 1, Tipo 2 ó Tipo 3	El contenido radiactivo es intrínsecamente seguro: Materiales radiactivos de baja actividad específica (BAE) y objetos contaminados en la superficie (OCS). Resistente al trato habitual o normal durante el transporte. Puede destruirse en accidentes, pero no se esperan consecuencias radiológicas significativas debido a la limitación de actividad.

Tabla 35: Tipo de bulto

7.1.2.3 Requisitos de Diseño [48] [49] [50]

Todos los bultos deben soportar condiciones de transporte rutinarias.

Condiciones rutinarias: Manipulación sin incidentes (carga y descarga, izado, etc)

Requisitos generales:

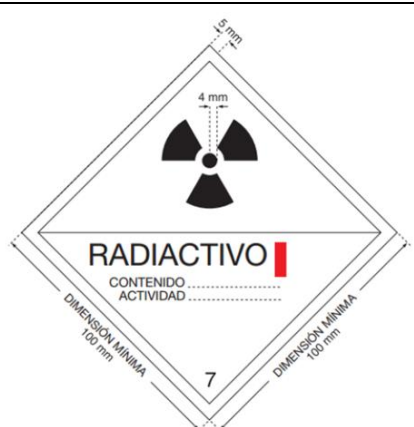
- Facilidad de manipulación.
- Ausencia de partes salientes.
- Facilidad de descontaminación.
- Capacidad de resistir aceleración y vibración.
- Compatibilidad física y química de los materiales.
- En el diseño del bulto se tendrán en cuenta las temperaturas y las presiones ambiente que probablemente se den durante el transporte en condiciones rutinarias.
- El nivel de radiación en cualquier punto de la superficie externa de un bulto exceptuado no excederá de 5 $\mu\text{Sv/h}$.
- Además de las propiedades radiactivas y fisionables, se deberán tener en cuenta al embalar, etiquetar, marcar, rotular, almacenar y transportar el bulto, todas las demás propiedades peligrosas del contenido de este, como son, por ejemplo, la explosividad, la inflamabilidad, la piroforicidad, la toxicidad química y la corrosividad.

7.1.2.4 Señalización de los bultos de material radiactivo [50]

Existen tres categorías de bultos según su nivel de radiación en la superficie y su valor de índice de transporte para cada una se utiliza una etiqueta diferente.

En el caso del UOC designado anteriormente como bulto exceptuado no precisa etiquetado, pero el uranio en la forma UO_2 deberá llevar etiqueta blanca (Tabla 36) que indica que el riesgo de irradiación es casi nulo ya que a un metro de su superficie el nivel de radiación es prácticamente cero. Es por ello que esta etiqueta no tiene rectángulo para el valor del IT dado que es igual a cero.

Índice de Transporte (IT)	Nivel de radiación máximo en cualquier punto de la superficie externa (1mSv/h = 1000 µSv/h)
0 ^a	Hasta 0,005 mSv/h
(a) Si el IT no es mayor que 0,05, el IT se considera 0	



I - BLANCA

Fuente: Elaboración propia con base del folleto de transporte del Consejo de Seguridad Nuclear.

Tabla 36: Etiquetado de UO2 para su transporte

También en el exterior de todos los bultos debe existir un marcado. Además de informar sobre el remitente o el destinatario o sobre ambos, incluirá el número de las Naciones Unidas procedido de las letras UN y de la denominación de la materia. (Tabla 37)

Otras marcas son el peso bruto (si es mayor de 50 kg), el tipo de bulto (salvo los exceptuados) o la marca de identificación asignada al diseño del bulto por la autoridad competente, en caso de precisar aprobación previa.

Marca	Tipo de bulto					
	Exceptuado	Industrial	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Fisionables
Remitente y/o destinatario	●	●	●	●	●	●
N° UN	●	●	●	●	●	●
Descripción de la materia según UN		● (salvo BI-1)	●	●	●	●
Tipo de bulto		●	●	●	●	●
Código internacional de matrícula de vehículo		●	●	●	●	●
Nombre del fabricante u otra identificación definida por la autoridad ARN		● (salvo BI-1)	●	●	●	●
Peso bruto admisible si es mayor de 50 kg	●	●	●	●	●	●
Marca de identificación dada en el certificado de aprobación				●	●	●
Número de serie				●	●	●
Trébol 				●	●	●

Fuente: Elaboración propia con base del folleto de transporte del Consejo de Seguridad Nuclear.

Tabla 37: Marcado de bultos

Los vehículos que transportan bultos no exceptuados por carretera dispondrán de dos rótulos, paneles naranjas, indicativos del transporte de mercancías peligrosas, colocados delante y detrás del vehículo.

Aunque el UOC consiste principalmente de uranio, su radioactividad por masa está muy por debajo de la actividad del mineral. Esto es porque otros elementos radiactivos de la cadena de decaimiento del uranio permanecen con los relaves del procesado de uranio. Sin embargo, dado que las tasas de exposición gamma aumentan con el tiempo, sólo se convierten en una consideración más importante si el transporte se extiende por varias semanas. ***Por lo tanto el principal problema de salud de la UOC se debe a su toxicidad química como metal pesado, más que su radioactividad.***

7.1.2.5 Información que acompaña las expediciones de bultos radiactivos [48] [49]

Exigida por la Norma AR 10.16.1

En la documentación de acompañamiento del transporte de la materia prima se incluirá:

- Detalles sobre la remesa. Fundamentalmente deben contemplar:
 - Nombre de la expedición o identificación de la materia, que describe el contenido de una forma general.
 - Número de clasificación según el riesgo, el 7 es el número asignado por la ONU a los materiales radiactivos.
 - Número de las Naciones Unidas (UN) asignado al material.
 - Radionucleídos contenidos en el bulto y su actividad máxima durante el transporte.
 - Categoría del bulto.
- Declaración del remitente, en cuanto a que ha dado cumplimiento a lo requerido por la reglamentación.
- Medidas especiales a adoptar por los transportistas

La seguridad ha de basarse en el diseño del embalaje y no en el control sobre cada transporte. Por ello, la inmensa mayoría de las expediciones no precisan de una autorización previa y ni siquiera de notificación [50]. Por lo que a continuación se enuncian requerimientos principales de otras dependencias para poder transportar sustancias peligrosas.

Documentos principales exigidos por la Comisión Nacional de Regulación del Transporte para circular [51]

- Registro Único del Transporte Automotor (RUTA) (Decreto N° 105/98)
- Certificado de realización de la revisión técnica obligatoria, (RTO). Cuando el vehículo realice transporte interjurisdiccional de cargas, la RTO es la emitida por los talleres habilitados por la Secretaría de transporte de la Nación (UTN-CENT) Cédula de identificación de la unidad
- Certificado de cobertura de seguro vigente y comprobante de pago.
- Licencia Nacional Habilitante según la modalidad para la cual está habilitado.
- Carnet de manejo para tránsito local.
- Placa de identificación y dominio del vehículo.
- Remito o carta de porte respaldatoria de la carga transportada.
- Documentación específica para cada tipo de transporte.

Transporte de Cargas Peligrosas – Requisitos Adicionales

- Para la unidad:
 - Tacógrafo en funcionamiento (marca y n° de servicio).
 - Carteles de identificación de la sustancia peligrosa que transporta.

Etiquetas de riesgo (rombos) y Paneles de seguridad, (rectángulos): identificación de mercancías, número ONU, código de riesgo correctamente colocadas (en dos lados opuestos del vehículo como mínimo) y que guarden relación con la sustancia transportada. Para la carga

- Matafuegos indicados para este transporte.
- Para la carga
 - Ficha de intervención de la sustancia peligrosa. (Resolución Secretaría de Transporte N°720/87 – anexo C).

Transporte Internacional

Cuando se realiza transporte internacional de cargas (de bandera nacional) además de todo lo informado para el transporte de cargas en general debo tener:

- Permiso Internacional correspondiente, certificado de identificación de Unidades.
- Seguro temporario de responsabilidad civil para ingresar al país de destino (con extensión a los países limítrofes).
- Conocimiento de Embarque (CRT).
- Manifiesto internacional de carga (MIC -DTA), Factura de Exportación.
- Certificado de origen del producto transportado.
- Permiso de embarque (a cargo del despachante).
- Seguro de responsabilidad civil de la carga.

7.1.2.6 Pruebas de seguridad y ensayos de los bultos

Debido a que los bultos fueron clasificados como exceptuados e industrial tipo 1, no es condición obligatoria que los mismos sean sometidos a algún tipo de ensayo.

7.1.2.7 Plan de Emergencia [53]

Los productores y los transportistas deber ser conscientes de que se trata de una carga radiactiva. Por lo tanto debe elaborarse un plan de emergencia general en el caso de derrame y/o accidente. Esto incluye la comunicación activa del riesgo al público, como los transportistas son los primeros que deben dar respuesta estos deben ser entrenados para que minimicen inicialmente los impactos y las unidades deben estar previstas de unidades calificadas a lo largo de la ruta de transporte.

La OIEA (2002) elaboró un marco para la planificación y preparación para la respuesta de los accidentes.

Igual de importante la repuesta de emergencia de la empresa y de los proveedores de servicios es la cuidadosa selección de las empresas de camiones, que deben ser conscientes de los riesgos del transporte de sustancias radiactivas. Por lo tanto, la seguridad, la salud, el medio ambiente y la calidad deben ser auditadas. Esto garantiza el cumplimiento de las normas de salud y seguridad en adhesión a los principios de buenas prácticas ambientales y de control de calidad.

La formación específica de los conductores, así como la definición de acciones para el conductor es útil en la mitigación de efectos en la fase inicial del accidente.

En los últimos años se ha dedicado mayor atención al transporte seguro del UOC. Aunque puede ser un desafío alinear las reglamentaciones del transporte de sustancias radiactivas con la protección física, que últimamente se ha tornado un tema importante para evitar la adquisición ilegal y el tráfico ilícito. (OIEA, 2008).

Un reciente informe francés (IRSN, 2013) identificó 44 ciclos de combustible “anómalos”, entre 1999 y 2011, que se derivan de promedio anual de 900000 envíos de material radiactivo en el país de Francia. Entre los envíos irregulares denunciaron: Falta de documentación en el etiquetado del bulto o del vehículo y contaminación superficial de los vehículos de transporte y/o contenedores.

Argentina no escapa tampoco de esta clase eventos, ya que en mayo de 1998 “unas 120 toneladas de mineral de uranio, cargadas en 11 contenedores y transportadas por otros tantos camiones, fueron retenidas en el puerto de Buenos Aires luego de que se comprobara que los vehículos no estaban autorizados para el traslado de este tipo de sustancias.”²

Aunque estos acontecimientos no ponen generalmente en peligro la seguridad del transporte, los descuidos como estos pueden tener consecuencias en accidentes de naturaleza más grave si la información de los contenidos o los contenedores en sí son inexactos y/o faltantes.

8 Conclusiones

Para el cálculo de la demanda de uranio necesario en el escenario de seis centrales nucleares operando a plena potencia durante el período 2017 - 2035, se utilizaron tres métodos distintos y la diferencia de los resultados obtenidos no fueron superiores al 0,3%. Por ello se consideró oportuno trabajar con los resultados que ofrecieron las calculadoras del proyecto WISE, y a partir de ellos derivar las conclusiones respecto del balance de materiales.

Analizando los resultados de tonelajes de uranio para abastecer a cada central y considerando como ley mineral promedio 0,1 %U, acorde a los contenidos de los depósitos argentinos, se deduce que para obtener 1 tU implica tratar 1000 t de mineral y remover 5000 t de roca estéril, dato que se debe considerar en la gestión de los residuos de mina, con las implicancias económicas y ambientales.

Las calculadoras utilizadas en el trabajo, presentan un error en la etapa de enriquecimiento en las plantas cuyo combustible es uranio natural, ya que por necesidades de las mismas debe ingresarse un enriquecimiento de U235 de 0.7114%.

Dentro del período de estudio, los años de mayor demanda de uranio están comprendidos desde 2026 a 2030, debido a que durante estos cuatro años se encontrarían operando las seis centrales a plena potencia.

A partir del año 2026 la demanda de uranio necesaria en la etapa de conversión superará la capacidad de producción de 460 tU/año de la NPUO2. Este desfase podría cubrirse con un superávit productivo en años de menos demanda.

En el caso de que el parque nuclear hipotético no creciera pero continuase operando hasta finalizar su vida útil proyectada para el año 2104, la demanda de uranio estimada para cubrir el período 2017 - 2104 sería aproximadamente 31000 tU, es decir que los recursos identificados de uranio actuales se agotarían, suponiendo la factibilidad de extracción de los mismos.

Los recursos identificados en la Argentina evaluados en la categoría de costos de producción <US\$ 130/ kgU constituyen una alternativa económicamente viable para el abastecimiento doméstico, atendiendo a los precios FOB que el país ha afrontado en los últimos años para la compra de uranio.

Más allá de la actual provisión externa (Canadá, Kazajstán), en el caso que Paraguay considerase en un futuro explotar los sitios de Yuty y Coronel Oviedo, podría surgir la alternativa de importar uranio del país vecino. La localización de la NPUO2 jugaría un rol positivo a este respecto.

También Brasil puede considerarse como posible proveedor, debido a que los planes mineros para un futuro cercano incluyen producciones de uranio de unas 2000 tU/año, que superarían holgadamente su consumo doméstico.

Se dio especial atención al transporte de materia prima, desde las posibles áreas productivas de concentrados de uranio como los depósitos Cerro Solo y Sierra Pintada, o desde el exterior, hasta la Nueva Planta de UO2 (NPUO2) en Formosa. Se concluyó que el transporte multimodal – terrestre, fluvial, marítimo- representaría la mejor opción en términos de seguridad y eficiencia.

Al respecto, se propone trabajar en una política de transporte a nivel nacional siendo imprescindible la participación y capacitación de todos los interesados involucrados en el ciclo combustible nuclear: Administradores de la mina, transportistas, aseguradores, participantes secundarios, administradores

de la planta de producción de UO₂, administradores de la planta de fabricación de elementos combustibles, Inspectores de CNRT, ARN, provincias involucradas en el ciclo combustible nuclear.

Finalmente se destaca que los cálculos de materiales y económicos realizados para este estudio de caso, pueden ser recreados para otros valores que puedan tomar las diferentes variables de proceso en otros escenarios alternativos.

9 Referencias

- [1] © OECD NEA (2016) Uranium 2016: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency.
- [2] López, L.; Los Recursos de Minerales Nucleares;
- [3] UNECE Application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 to Nuclear Fuel Resources – Selected Case Studies; ECE ENERGY SERIES No. 46; UNITED NATIONS New York and Geneva, 2015. C. Case Study – Application of UNFC-2009 to the Uranium Resources of Argentina Prepared by Mr. Luis López, National Atomic Energy Commission, Argentina
- [4] <http://www.WISE-uranium.org/calc.html#INTRO>; accedido 23/09/2017
- [5] COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA ;Clasificación Marco de las Naciones Unidas para la energía fósil y los recursos y reservas minerales 2009; SERIE CEPE ENERGÍA N° 39; NACIONES UNIDAS Nueva York y Ginebra, 2010
- [6] López, L.; Seminario: Evaluación y Sustentabilidad de los Recursos en las Industrias Extractivas; Taller: Clasificación Marco de las Naciones Unidas (CMNU). Guías Clasificadoras de los Recursos para Combustible Nuclear; XX Congreso Geológico Argentino. “ Geología, Presente y Futuro”,
- [7] IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-5.2; “Modelling Nuclear Energy Systems With Message: A User’s Guide”; International Atomic Energy Agency Vienna, 2016
- [8] <http://www.infodefensa.com/latam/2016/10/24/noticia-argentina-compra-cuatro-toneladas-uranio-enriquecido-brasil-millones-dolares.html>; accedido 17/11/2017
- [9] Yancey, C.; Fernández V.; Tulsidas, H.; López, L.; “Considerations related to the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 to uranium projects and associated resources in Paraguay”; Economic and Social Council – United Nations; ECE/ENERGY/GE.3/2016/10
- [10] Beahm, D.; Northrop, B. Deiss, A.; “Updated Technical Report on the Yuty Uranium Project, Republic of Paraguay”; preparado para CUE RESOURCES LTD; 24/08/2011.
- [11] Beahm, D.; “Coronel Oviedo Uranium Project Technical Report, Exploration Potential National Instrument 43-101 Paraguay, Sa”; preparado para Uranium Energy Coporation; 15/09/2012
- [12] Publicación online “La Voz”; Brasil enviará a Argentina su primer embarque de uranio enriquecido”; <http://www.lavoz.com.ar/politica/brasil-enviara-argentina-su-primer-embarque-de-uranio-enriquecido> accedido 11/10/2017
- [13] Publicación online “Sputnik Mundo”; Brasil se prepara para exportar uranio metálico a Argentina; <https://mundo.sputniknews.com/americalatina/201705041068890781-brasil-argentina-uranio/> accedido 11/10/2017
- [14] Publicación online “notiamérica”; Brasil exportará uranio enriquecido a Argentina; <http://www.notimerica.com/economia/noticia-brasil-exportara-uranio-enriquecido-argentina-20160704222517.html> accedido 11/10/2017
- [15] Publicación online “ipen: Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares”; Brasil envía carga de uranio enriquecido para abastecer el reactor nuclear en Argentina https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=7547; accedido 13/10/2017
- [16] El Proyecto Cerro Solo. Provincia de Chubut – Un emprendimiento promisorio <http://caebis.cnea.gov.ar/geologia/cerrsolo/FOLLETO.htm>; accedido 13/10/2017
- [17] Such, T; Toledo, E.; Colón, H.; Delbuono, V.; Agatiello, F.; “Situación actual y perspectivas”; Informe especial; Mercado del Uranio; Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación; Dirección de Economía Minera; Diciembre 2016.

- [18] Publicación online “telam, ECONOMÍA”; “La Argentina importó uranio natural por US\$13,7 millones en 2016”; <http://www.telam.com.ar/notas/201705/189782-la-argentina-importo-uranio-natural-por-us137-millones-en-2016.html>; accedido 19/10/2017
- [19] IAEA TC Project INT2019 Interregional Workshop on Practice and Safety of In Situ Leach (ISL) for Uranium Production and Review of Emerging Demands and Progress Beijing, China 9-13 October 2017
- [20] http://exportarya.com/calcular-precio-fob.asp?id_idioma=2; accedido 25/10/2017
- [21] <http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-precio-fob.html>; accedido 25/10/2017
- [22] <http://www.dioxitek.com.ar/cs/270/16372/quienes-somos>; accedido 28/10/2017
- [23] http://www.editorialrn.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=11103:dioxite-k-volvio-a-hacer-dioxido-de-uranio-en-alta-cordoba&catid=14:nacional&Itemid=599; accedido 25/10/2017
- [24] <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/clausuran-dioxitek-controvertida-planta-ubicada-alta-cordoba>; accedido 28/10/2017
- [25] <http://u-238.com.ar/dioxitek-prepara-el-cierre-en-cordoba-para-mudarse-a-formosa/>; accedido 28/10/2017
- [26] Lamberti, A.; “Gestión y Remediación de Pasivos Ambientales. Políticas y Atribución de Responsabilidad”; Instituto de Derecho Ambiental y de la Energía (IDAE); ISBN 978-987-643-009-8; Córdoba; septiembre 2008
- [27] <https://www.formosa.gob.ar/puertos/carga>, accedido 02/11/2017
- [28] <http://rm-forwarding.com/2017/07/04/mayor-buque-la-hidrovia-opera-capacidad-maxima/>, accedido 03/11/2017
- [29] https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/infraestructura/archivos/000070_Hidrov%C3%ADas/000010_Hidrov%C3%ADa%20Paran%C3%A1%20Paraguay.pdf, accedido 10/11/2017
- [30] Moiraghi, L.; El Transporte Multimodal: una nueva modalidad contractual, su aplicación regional; Facultad de Derecho, Cs Sociales y Políticas Universidad Nacional del Nordeste Comunicaciones Científicas y Tecnológicas; 2003
- [31] <http://www.raminatrans.com/diferencias-entre-transporte-multimodal-e-intermodal.html>, accedido 14/11/2017
- [32] Zuidwijk, A; presentación: “La Relación entre Transporte Intermodal, La Logística, Las Políticas de Transporte y La Economía. Al final: ¿Merece este breve ensayo una ampliación?”
- [33] Zuidwijk, A; presentación: Transporte Intermodal, Transporte Multimodal, Políticas de Transporte Intermodal.
- [34] Zuidwijk, A.; “Transporte Intermodal”: para La Nación; 5 de enero de 2016
- [35] Zuidwijk, A.; “La “Esencia” del artículo en La Nación del 5 de enero 2016” “Transporte Intermodal”
- [36] <http://www.lanacion.com.ar/217602-multimodal-el-transporte-del-futuro>; accedido 12/11/2017
- [37] <http://www.lanacion.com.ar/1858549-transporte-intermodal>; accedido 12/11/2017
- [38] <http://www.antonioz.com.ar/>; accedido 12/11/2017
- [39] <http://www.lanacion.com.ar/220140-operador-multimodal-la-figura-que-falta>; accedido 12/11/2017
- [40] Sanabria, J.; presentación: Transporte Multimodal e Intermodal
- [41] Araque, C.; presentación: Transporte Multimodal e Intermodal

- [42] Miralles – Guasch; Las encuestas de movilidad y los referentes ambientales de los transportes; Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España. ISSN 0250-7161 EURE (Santiago)
- [43] <https://www.structuralia.com/es/blog/25-ferrocarriles/10002013-los-22-trabajos-mas-frecuentes-en-el-mantenimiento-de-vias-ferreas>
- [44] Trenes Argentinos Cargas Infraestructura; <https://www.bcyi.com.ar/red>; accedido 14/11/2017.
- [45] Bogdanova, A.; Transporte Multimodal, Ventajas y Desventajas
- [46] <http://www.lanacion.com.ar/95681-descubren-11-camiones-con-uranio>; accedido 03/11/2017
- [47] Daud, A.; presentación “ Transporte de Material Radiactivo, Conceptos Básicos”, Instituto de Tecnología Nuclear – Dan Beninson, Universidad Nacional de San Martín.
- [48] Chao, L.; presentación “Transporte Seguro de Material Radiactivo” Instituto de Tecnología Nuclear – Dan Beninson, Universidad Nacional de San Martín; 2016
- [49] Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN); Norma AR 10.16.1; Transporte de Materiales Radiactivos, revisión 3; República Argentina; 2016
- [50] Consejo de Seguridad Nuclear (CSN); El transporte de materiales radiactivos; SDB – 06.01; Madrid; 2009
- [51] Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas (FADEEAC); Guía para Conductores de Transporte de Cargas. Garantía de Seguridad;
- [52] Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Normas de Seguridad del OIEA para la protección de las personas y el medio ambiente; Requisitos de seguridad N° TS-R-1, edición 2009
- [53] Agencia de Energía Nuclear (NEA) - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD); Managing Environmental and Health Impacts of Uranium Mining; 2014

10 Anexo 1[3][5]

10.1 Clasificación Marco de las Naciones Unidas (CMNU – “UNFC”)

La Clasificación Marco de las Naciones Unidas para la energía fósil, los recursos y reservas minerales 2009 (CMNU-2009) es un sistema para la clasificación y la presentación de información sobre la energía fósil, los recursos y reservas minerales que puede aceptarse a nivel universal y aplicarse a nivel internacional y es actualmente la única clasificación del mundo que permite hacerlo.

La CMNU-2009 es un sistema genérico basado en principios en el que las cantidades se clasifican con arreglo a los tres criterios fundamentales de **viabilidad económica y social (E)**, **situación y viabilidad de los proyectos sobre el terreno (F)** y **conocimiento geológico (G)**, mediante un sistema de codificación numérico e independiente del idioma. Las combinaciones de esos criterios dan lugar a un sistema tridimensional.

El primer conjunto de categorías (el eje E) designa en qué medida son favorables las condiciones sociales y económicas a la hora de establecer la viabilidad comercial del proyecto, incluida la consideración de los precios de mercado y las condiciones de naturaleza jurídica, normativa, ambiental y contractual. El segundo conjunto (el eje F) designa la madurez de los estudios y compromisos necesarios para poner en práctica planes o proyectos de explotación de los recursos mineros. Esos estudios y compromisos van desde las primeras actividades de exploración realizadas antes de confirmar la existencia de un yacimiento o acumulación hasta el establecimiento de un proyecto para extraer y vender un producto, y reflejan los principios normalizados de la gestión de la cadena de valor. El tercer conjunto de categorías (el eje G) designa el nivel de confianza en el conocimiento geológico y las posibilidades de recuperar las cantidades establecidas.

Las categorías y subcategorías son los elementos constitutivos del sistema y se combinan en forma de "clases". La CMNU-2009 puede visualizarse en tres dimensiones, como se muestra en la Figura N° 16, o representarse en una versión práctica abreviada bidimensional como se muestra en la Tabla 38.

10.1.1 Clases

Una clase queda definida unívocamente al seleccionar una combinación determinada de una categoría o subcategoría (o grupos de categorías o subcategorías) de cada uno de los tres criterios.

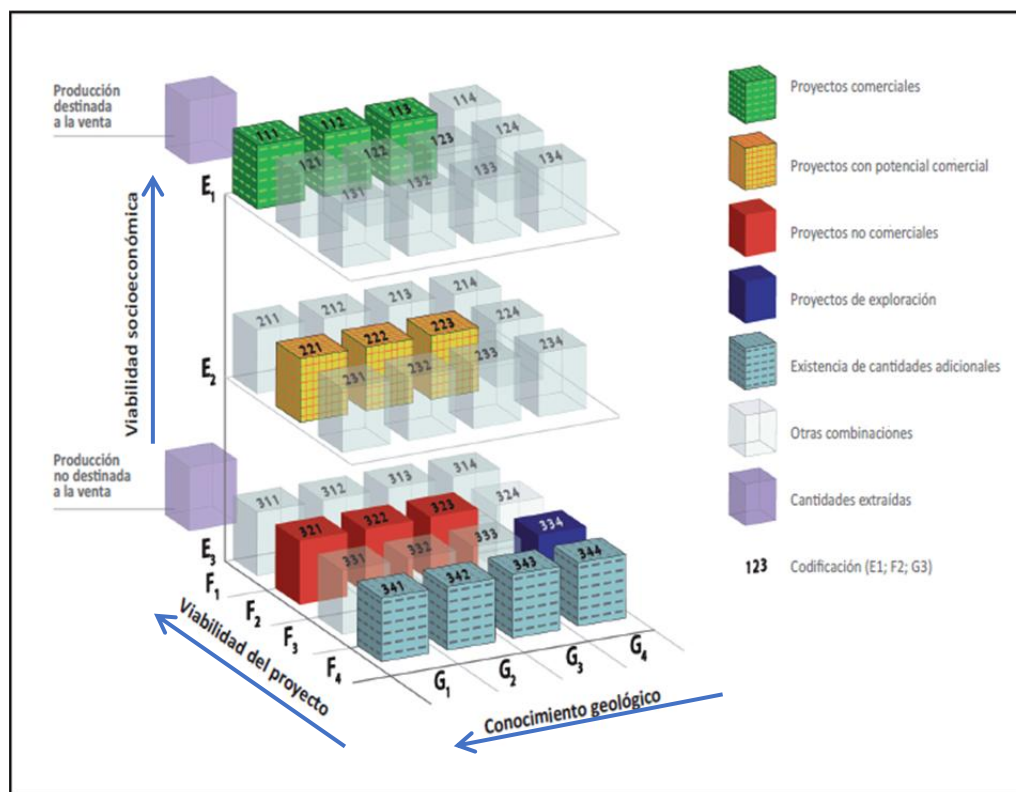


Figura N° 16: Categorías y ejemplos de clases de la CMNU-2009

Total de las existencias iniciales del proyecto	Extraídas	Producción destinada a la venta			
		Producción no destinada a la venta ^a			
		Clase	Categorías		
			E	F	G ^b
	Recuperación en el futuro mediante proyectos comerciales de explotación u operaciones mineras.	Proyectos Comerciales ^c	1	1	1,2,3
	Posible recuperación en el futuro mediante proyectos de explotación u operaciones mineras condicionales.	Proyectos con potencial comercial ^d	2 ^e	2	1,2,3
		Proyectos no Comerciales ^f	3	2	1,2,3
	Existencia de cantidades adicionales asociadas con yacimientos conocidos ^g		3		1,2,3
	Posible recuperación en el futuro mediante actividades de exploración satisfactorias	Proyectos de Exploración	3		4
	Existencia de cantidades adicionales asociadas con posibles yacimientos ^g		3		4

Tabla 38: Versión abreviada de la CMNU – 2009 en la que se muestran las clases primarias

- La producción en el futuro no destinada a la venta se clasifica como E3.1
- Las **categorías G** pueden utilizarse de manera discreta, especialmente al clasificar los minerales sólidos y las cantidades existentes, o de manera acumulativa (por ejemplo G1+G2), como se hace habitualmente en el caso de los líquidos recuperables.
- Se entiende por **proyectos comerciales** aquellos que se ha confirmado que son técnica, económica y socialmente viables.
- Se entiende por **proyectos con potencial comercial** aquellos que se confía puedan ponerse en práctica en un futuro previsible, en los que se ha determinado que las cantidades muestran perspectivas razonables para una extracción económica en última instancia, pero cuya viabilidad técnica o comercial aún no se ha confirmado.
- Los proyectos con potencial comercial pueden satisfacer los requisitos para la clasificación E1.
- Entre los **proyectos no comerciales** figuran los que se encuentran en una etapa inicial de evaluación, además de los que se considera poco probable que puedan dar lugar a explotaciones comerciales viables en un futuro previsible.
- Una parte de esas cantidades podrían ser recuperables en el futuro a medida que se produzcan avances tecnológicos. Dependiendo del tipo de producto y la tecnología de recuperación (en su caso) que ya se haya aplicado, es posible que parte de esas cantidades, o la totalidad, no puedan recuperarse nunca debido a limitaciones de carácter físico o químico.

Clases de la CMNU definidas por categorías y subcategorías						
Total de las existencias iniciales del producto	Extraídas	Producción destinada a la venta				
		Produccción no destinada a la venta				
	Clase		Subclase	Categorías		
				E	F	G
	Yacimiento conocido	Proyectos Comerciales	En producción	1	1.1	1,2,3
			Desarrollo aprobado	1	1.2	1,2,3
			Desarrollo justificado	1	1.3	1,2,3
		Proyectos con potencial comercial	Pendiente de desarrollo	2	2.1	1,2,3
			Desarrollo detenido	2	2.2	1,2,3
		Proyectos no comerciales	Desarrollo sin aclarar	3.2	2.2	1,2,3
			Desarrollo no viable	3.3	2.3	1,2,3
		Cantidades adicionales existentes			3.3	4
Yacimiento potencial	Protectos de exploración	[Sin subclases definidas]	3.2	3	4	
	Cantidades adicionales existentes		3.3	4	4	

Tabla 39: Clases y subclases en la CMNU-2009 definidas por subcategorías

10.2 Esquema Clasificadorio NEA/IAEA[6]

		Recursos Identificados		Recursos No Descubiertos	
Viabilidad Económica	Costo recuperable	<USD 40/KgU	Recursos Razonablemente Asegurados	Recursos Inferidos	Recursos Pronosticados
		USD 40-80/KgU	Recursos Razonablemente Asegurados	Recursos Inferidos	Recursos Pronosticados
		USD 80-130/KgU	Recursos Razonablemente Asegurados	Recursos Inferidos	Recursos Pronosticados
		USD 130-260/KgU	Recursos Razonablemente Asegurados	Recursos Inferidos	Recursos Pronosticados
		Recursos Especulativos			
Grado de Conocimiento Geológico					

Tabla 40: Esquema Clasificadorio NEA/IAEA

10.2.1 Recursos Razonablemente Asegurados (RAR)

- Uranio en depósitos minerales conocidos
- Depósitos bien delineados → tamaños, contenidos y configuraciones
- Recursos recuperables con métodos extractivos y tecnologías de procesamiento ya probados
- Los tonelajes y leyes determinados a partir de muestreos y mediciones en depósitos existentes
- Expresados en cantidades de uranio recuperable

10.2.2 Recursos Inferidos (IR)

- Uranio cuya ocurrencia está inferida en base a evidencia geológica directa
- Extensiones de depósitos bien explorados, o depósitos con continuidad geológica bien establecida, pero sin datos suficientes para clasificar los recursos como RAR
- Tonelajes y leyes basados en muestreos de las partes conocidas de un determinado depósito o en depósitos similares
- Expresados en términos de uranio recuperable

10.2.3 Recursos Pronosticados (PR)

- Uranio cuya expectativa de ocurrencia en determinados depósitos es por evidencia indirecta
- Corresponden a guías geológicas bien definidas o a áreas de mineralizaciones con depósitos conocidos
- Puede eventualmente disponerse de datos geológicos, geoquímicos o geofísicos
- Se expresan como uranio in situ

10.2.4 Recursos Especulativos (SR)

- Uranio que puede ocurrir en base a evidencias indirectas y de extrapolaciones geológicas
- Depósitos por ser descubiertos con las técnicas de exploración existentes
- Localización de depósitos no específica. Se hace referencia a una región determinada o a una tendencia geológica
- Se expresan como uranio in situ

10.3 Status de Producción de los Recursos

Centro de producción: es una unidad productiva consistente en una o más plantas de procesamiento, una o más minas y recursos uraníferos que son tributarios a esa instalación.

10.3.1 Tipos de Centros de Producción y Recursos Asociados

Centro de producción existente: está actualmente en condición operacional. Incluye además a aquellas plantas que están cerradas pero que puedan volver a ser puestas en operación.

Centro de producción comprometido: está en construcción o están firmemente comprometido para entrar en esta instancia.

Centro de producción planificado: es aquél cuyos estudios de factibilidad han sido completados o están en progreso, pero la construcción de la instalación no ha sido aún comprometida. Esta clase también incluye a las plantas que están cerradas y que requerirían de costos muy sustantivos para volver a estar en operación.

Centro de producción prospectivo: pueden estar sustentados por RAR e IR (Recursos Identificados) tributarios, pero cuyos planes de construcción aún no han sido diseñados.

CLASIFICACIÓN CMNU					CLASIFICACIÓN AEN-OIEA	
CLASES Y SUBCLASES CMNU		CATEGORÍAS CMNU				
CLASE	Subclase	E	F	G	Status	Categorías AEN-OIEA
Proyectos Comerciales	En producción	1	1.1	1,2	Existente	Recursos Razonablemente Asegurados
	Desarrollo Aprobado	1	1.2	1,2	Comprometido	
	Desarrollo Justificado	1	1.3	1,2	Planificado	
Proyectos con Potencial Comercial	Desarrollo Pendiente	2	2.1	1,2,3	Prospectiva	Recursos Identificados
	Desarrollo Detenido	2	2.2	1,2,3		
Proyectos No Comerciales	Desarrollo sin Aclarar	3.2	2.2	1,2,3	Sin Aclarar	Recursos Identificados
	Desarrollo No Viable	3.3	2.3	1,2,3	No Viable	
Proyectos de Exploración		3.2	3.1	4		Recursos Pronosticados
		3.2	3.2,3.3	4		Recursos Especulativos

Tabla 41: Equivalentes entre UNFC-2009 y NEA-IAEA

11 Anexo 2

AÑO	ETAPA	PRECIO DE MERCADO SPOT	UNIDAD	ATUCHA I		ATUCHA II NAT		ATUCHA III UE		EMBALSE		CAREM 25		CANDU 6		PWR - HUAILONG		TOTAL PRECIO SPOT	TOTAL PRECIO FOB
				Kg U	\$	Kg U	\$	Kg U	\$	Kg U	\$	Kg U	\$	Kg U	\$	Kg U	\$		
2017	Procesado de U (Molino)	53.30	\$/kg U	40045.2	2134408.1	92033.2	4937350.1												7071758.2
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	26.00	\$/kg U producido		1041174.7		2408463.5												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	4.60	\$/kg U	39845.0	183296.8	92170.0	423982.2												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido		0.0		0.0												
2018	Enriquecimiento	42.57	\$/SWU	3411.1	145209.1														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	10.00	\$/kg U en las colas	10065.9	100659.1														
	SUBTOTAL 2018				\$ 3,605,373.77		\$ 7,769,796.39											\$ 11,375,170.16	\$ 25,616,125.25
	Procesado de U (Molino)	55.01	\$/kg U	40045.2	2020952.1	92033.2	3055207.3												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	26.83	\$/kg U producido		1074610.8		2485908.4												
2019	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	4.97	\$/kg U	39845.0	197029.8	92170.0	457854.7												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido		0.0		0.0												
	Enriquecimiento	43.46	\$/SWU	3411.1	148253.5														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	10.21	\$/kg U en las colas	10065.9	102810.3														
	SUBTOTAL 2019				\$ 3,176,556.47		\$ 8,039,570.20											\$ 20,045,230.00	\$ 41,890,199.00
2020	Procesado de U (Molino)	58.36	\$/kg U			92033.2	5405795.2												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	28.47	\$/kg U producido				2636973.8												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	6.18	\$/kg U			92170.0	569226.8												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido				0.0												
	Enriquecimiento	44.88	\$/SWU																
2021	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	10.54	\$/kg U en las colas																
	SUBTOTAL 2020						\$ 8,611,997.50											\$ 17,481,415.00	\$ 36,633,362.00
	Procesado de U (Molino)	62.32	\$/kg U			92033.2	577685.5												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	30.40	\$/kg U producido				2815944.1												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	8.33	\$/kg U			92170.0	767315.6												
2022	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido				0.0												
	Enriquecimiento	46.41	\$/SWU																
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	10.90	\$/kg U en las colas																
	SUBTOTAL 2021						\$ 9,335,945.50											\$ 20,504,329.00	\$ 41,464,469.00
	Procesado de U (Molino)	67.39	\$/kg U	40045.2	2096638.0														
2023	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	32.87	\$/kg U producido		1316408.8		2815944.1												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	10.54	\$/kg U	39845.0	419766.7		767315.6												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido		0.0		0.0												
	Enriquecimiento	48.06	\$/SWU	3411.1	163918.8														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	11.29	\$/kg U en las colas	10065.9	113673.8														
2024	SUBTOTAL 2022				\$ 9,472,406.50		\$ 10,588,429.29											\$ 27,129,669.00	\$ 59,529,113.00
	Procesado de U (Molino)	73.10	\$/kg U	40045.2	2027175.8														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	35.66	\$/kg U producido		1427890.7		3095189.8												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	12.09	\$/kg U	39845.0	481758.8		998315.5												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido		0.0		0.0												
2025	Enriquecimiento	49.80	\$/SWU	3411.1	169882.5														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	11.70	\$/kg U en las colas	10065.9	117800.5														
	SUBTOTAL 2023				\$ 15,124,517.31		\$ 11,527,033.03											\$ 29,520,576.00	\$ 66,977,612.00
	Procesado de U (Molino)	80.96	\$/kg U	40045.2	3242044.4														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	39.49	\$/kg U producido		1351485.1		3765112.2												
2026	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	12.96	\$/kg U	39845.0	516224.7		144625.5												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido		0.0		0.0												
	Enriquecimiento	51.55	\$/SWU	3411.1	175831.9														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	12.11	\$/kg U en las colas	10065.9	121935.3														
	SUBTOTAL 2024				\$ 16,697,921.00		\$ 12,795,222.00											\$ 32,493,143.00	\$ 73,106,944.00
2027	Procesado de U (Molino)	92.69	\$/kg U	40045.2	3711702.0														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	45.21	\$/kg U producido		1810985.8		3924745.1												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	13.62	\$/kg U	39845.0	542489.1		150797.9												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido		0.0		0.0												
	Enriquecimiento	53.33	\$/SWU	3411.1	181923.5														
2028	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	12.53	\$/kg U en las colas	10065.9	126159.7														
	SUBTOTAL 2025				\$ 18,124,517.31		\$ 14,451,956.50											\$ 32,576,473.81	\$ 73,106,944.00
	Procesado de U (Molino)	97.89	\$/kg U	40045.2	4045200.4														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	48.21	\$/kg U producido		1910985.8		4030462.4												
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	14.13	\$/kg U	39845.0	592489.1		151987.9												
2029	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0.00	\$/kg U convertido		0.0		0.0												
	Enriquecimiento	55.33	\$/SWU	3411.1	191923.5														
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	12.53	\$/kg U en las colas	10065.9	126159.7														
	SUBTOTAL 2026				\$ 20,124,517.31		\$ 16,451,956.50											\$ 36,576,473.81	\$ 81,106,944.00
	Procesado de U (Molino)	100.96	\$/kg U	40045.2	4442004.4														

AÑO	ETAPA	PRECIO DE MERCADO SPOT	UNIDAD	ATUCHA I		ATUCHA II NAT		EMBASE		CAREM 25		CAUJÍ 6		PWR - HUALONG		TOTAL PRECIO SPOT	TOTAL PRECIO FOB
				kg U	\$	kg U	\$	kg U	\$	kg U	\$	kg U	\$	kg U	\$		
2025	Procesado de U (Molino)	100,08	\$/kg U	40045,2	4031688,7			95337,4	959842,14	11219,4	1219549,3	94261,1	9400046,2				
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	49,11	\$/kg U producido		1966677,4				462156,8		55099,7		4629300,6				
	Conversión	14,28	\$/kg U	39845,0	569085,6				138771,0	11163,3	159439,4	93789,79	139552,7				
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,00	\$/kg U convertido						0,0		0,0		0,0				
	Enriquecimiento	55,18	\$/SWU	3411,1	188228,3					5907,9	324605,8						
2026	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	12,96	\$/kg U en las colas	10069,9	130331,9				282949,5	9524,7	123464,1						
	SUBTOTAL 2025				\$ 6.886.212				\$ 16.427.006		\$ 2.289.438		\$ 15.458.919			\$ 55.210.946	\$ 110.169.596
	Procesado de U (Molino)	102,8	\$/kg U	40045,2	4115397,0			95337,4	978895,3	11219,4	1153153,0	94261,1	9688375,8	215577,7	22157579,0		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	50,14	\$/kg U producido		207774,2				479997,7		562513,7		4726037,0		10080575,1		
	Conversión	15,0	\$/kg U	39845,0	595914,6				1433200,3	11163,3	166956,0	93789,79	1402704,5	214499,8	3208023,3		
2027	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,0	\$/kg U convertido		0,0				0,0		0,0		0,0		0,0		
	Enriquecimiento	57,1	\$/SWU	3411,1	194724,9					5907,9	31775,1			130316,9	7439463,2		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	13,41	\$/kg U en las colas	10069,9	135944,1					9524,7	127731,9			193256,5	2591696,6		
	SUBTOTAL 2026				\$ 7.08.405				\$ 16.012.293		\$ 2.347.630		\$ 15.187.117		\$ 46.205.597	\$ 102.712.796	\$ 186.469.248
	Procesado de U (Molino)	104,9	\$/kg U	40045,2	4201573,7			95337,4	1002974,2	11219,4	1171456,6	94261,1	9889531,2	215577,7	22618591,9		
2028	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	51,18	\$/kg U producido		209548,1				4879450,8		574217,4		4824367,4		11033469,5		
	Conversión	15,6	\$/kg U	39845,0	623942,7				149808,7	11163,3	174528,4	93789,79	1466325,2	214499,8	3353525,6		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,0	\$/kg U convertido		0,0				0,0		0,0		0,0		0,0		
	Enriquecimiento	59,1	\$/SWU	3411,1	201426,3					5907,9	348864,4			130316,9	7693321,5		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	13,87	\$/kg U en las colas	10069,9	139084,4					9524,7	132121,0			193256,5	2680751,1		
2029	SUBTOTAL 2027				\$ 7.215.175				\$ 16.384.634		\$ 2.405.877		\$ 14.180.646		\$ 47.381.660	\$ 105.205.070	\$ 190.348.947
	Procesado de U (Molino)	107,0	\$/kg U	40045,2	4285388,2			95337,4	10202415,3	11219,4	1200627,8	94261,1	10087414,6	215577,7	2365796,1		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	52,20	\$/kg U producido		209433,3				4976787,9		585672,1		4920605,7		1125359,1		
	Conversión	16,3	\$/kg U	39845,0	64938,9				1562518,5	11163,3	182027,8	93789,79	1529164,4	214499,8	3407240,5		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,0	\$/kg U convertido		0,0				0,0		0,0		0,0		0,0		
2030	Enriquecimiento	60,7	\$/SWU	3411,1	207051,7					5907,9	358607,4			130316,9	7910258,8		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	14,36	\$/kg U en las colas	10069,9	143355,5					9524,7	135810,9			193256,5	2755618,9		
	SUBTOTAL 2028				\$ 7.376.098				\$ 16.741.722		\$ 2.462.736		\$ 15.537.082		\$ 46.486.480	\$ 107.593.522	\$ 194.146.099
	Procesado de U (Molino)	109,1	\$/kg U	40045,2	4384211,9			95337,4	10400297,3	11219,4	1223891,2	94261,1	10262652,0	215577,7	2316796,4		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	53,21	\$/kg U producido		2130397,5				5073218,2		597020,1		5015947,3		11471608,0		
2031	Conversión	17,0	\$/kg U	39845,0	676235,4				1624688,7	11163,3	189493,3	93789,79	1591769,1	214499,8	3641019,1		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,0	\$/kg U convertido		0,0				0,0		0,0		0,0		0,0		
	Enriquecimiento	62,0	\$/SWU	3411,1	211403,7					5907,9	361444,9			130316,9	8076498,5		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	14,56	\$/kg U en las colas	10069,9	146463,5					9524,7	138665,4			193256,5	2813538,3		
	SUBTOTAL 2029				\$ 7.553.602				\$ 17.029.804		\$ 2.515.181		\$ 16.890.408		\$ 46.518.860	\$ 109.888.187	\$ 197.807.873
2032	Procesado de U (Molino)	111,1	\$/kg U	40045,2	4448679,1			95337,4	10591169,2	11219,4	1246376,6	94261,1	10471607,0	215577,7	23948850,1		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	54,19	\$/kg U producido		217087,4				516624,0		607988,6		5188101,0		11682365,9		
	Conversión	17,6	\$/kg U	39845,0	702831,9				1690458,9	11163,3	196910,8	93789,79	1654373,7	214499,8	3783597,7		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,0	\$/kg U convertido		0,0				0,0		0,0		0,0		0,0		
	Enriquecimiento	63,2	\$/SWU	3411,1	215602,1					5907,9	374165,5			130316,9	8236896,9		
2033	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	14,85	\$/kg U en las colas	10069,9	149515,0					9524,7	141419,3			193256,5	2869414,9		
	SUBTOTAL 2030				\$ 7.686.716				\$ 17.448.062		\$ 2.565.112		\$ 17.234.082		\$ 46.521.125	\$ 112.118.317	\$ 201.543.865
	Procesado de U (Molino)	113,1	\$/kg U					95337,4	10780175,5	11219,4	1261619,0	94261,1	10658479,6	215577,7	24376224,8		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	55,16	\$/kg U producido						5258622,2		618838,6		5199258,4		11890845,3		
	Conversión	18,3	\$/kg U						1754748,6	11163,3	204399,5	93789,79	1717291,1	214499,8	3927491,3		
2034	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,0	\$/kg U convertido						0,0		0,0		0,0		0,0		
	Enriquecimiento	64,4	\$/SWU							5907,9	380629,0			130316,9	8395992,1		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	15,13	\$/kg U en las colas							9524,7	144150,8			193256,5	2944837,5		
	SUBTOTAL 2031				\$ 16.991.494				\$ 17.793.546		\$ 2.603.637		\$ 17.575.029		\$ 51.515.399	\$ 106.492.105	\$ 190.018.663
	Procesado de U (Molino)	114,9	\$/kg U					95337,4	10954195,2	11219,4	1289096,6	94261,1	10830525,0	215577,7	24797995,3		
2035	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	56,05	\$/kg U producido						5343595,0		628827,6		5283182,9		12082783,1		
	Conversión	18,9	\$/kg U						1813879,1	11163,3	212897,2	93789,79	175159,4	214499,8	4059837,2		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	0,0	\$/kg U convertido						0,0		0,0		0,0		0,0		
	Enriquecimiento	65,6	\$/SWU							5907,9	397260,6			130316,9	8542272,8		
	Costo Futuro de la Gestión de Residuos	15,40	\$/kg U en las colas							9524,7	146662,3			193256,5	2975796,0		
	SUBTOTAL 2032				\$ 18.111.569				\$ 17.888.867		\$ 2.663.134		\$ 17.888.867		\$ 52.430.395	\$ 108.388.527	\$ 193.085.877
TOTAL COSTO PRECIO SPOT																	\$ 1.024.283.583
TOTAL COSTO FOB																	\$ 1.881.324.857

12 Anexo 3

12.1 Marco Legal

12.1.1 Marco Legal de la Actividad Minera del Uranio

- **Chubut: Ley N° 5001 (hoy Ley XVII-N° 68):** Prohíbe la actividad minera metalífera en el ámbito de la Provincia del Chubut, en la modalidad a cielo abierto y la utilización de cianuro en los procesos de producción minera al 8 de mayo de 2003.
- **Mendoza: Ley N° 7722 (junio de 2007):** Prohíbe la explotación minera con Cianuro, Mercurio, Ácido Sulfúrico y otras sustancias tóxicas. También, cada etapa debe ser aprobada por el poder legislativo.

12.1.2 Marco Legal de Transporte de Material Radiactivo:

- **Chubut: Ley N° 5439 (hoy Ley XI – N°35) (Código Ambiental de la provincia de Chubut):**

Artículo 69: Para el caso de transporte de sustancias peligrosas generadas fuera del ámbito provincial y cuyo destino final se encuentre también fuera de la Provincia, utilizándose el territorio como tránsito, la empresa transportista, como operadora, deberá reunir todos los requisitos y documentación exigidos por la Ley 24.051 y su reglamentación, debiendo acreditar y comunicar a la Autoridad de Aplicación su intención, con una antelación no menor de diez (10) días, con la expresa mención de:

- a) Sustancia a transportar;
- b) La ruta que recorrerá y escalas, si se hicieran;
- c) Tiempo que demandará el tránsito por el territorio provincial;
- d) Riesgos que podrá ofrecer el transporte en su recorrido por el territorio provincial y los medios y métodos para prevenirlos;
- e) Datos necesarios para que la Autoridad de Aplicación pueda localizarlos, inspeccionar y tomar las medidas de seguridad necesarias.

- **Río Negro: Ley N° 3012**

Sancionada: 22/08/96

Promulgada: 05/09/96 - Decreto Numero 1426

Boletín Oficial: Numero 3398

Artículo 1º.- Sustituyese el artículo 7º de la ley nº 2472 por el siguiente texto: "

Artículo 7º.- Prohíbese la realización de estudios geológicos, hidrogeológicos o de otra naturaleza en el territorio provincial, con la finalidad de determinar la factibilidad para la construcción de reservorios, repositorios, depósitos, basureros, permanentes o transitorios con destino al almacenaje de material, insumos o desechos radiactivos u otras sustancias consideradas altamente peligrosas y nocivas a la salud, producidos fuera de la Provincia de Río Negro.

- **La Pampa: Ley Provincial N°. 1.663**

Santa Rosa, 15 de noviembre de 1995

Declara a La Pampa **Zona No Nuclear** y Regula Actividades de ese Origen.

Boletín Oficial, 22 de Diciembre de 1995

Artículo 2.- Prohíbese la introducción, tráfico, transporte y uso de sustancias radioactivas en todo el territorio de la provincia, como así mismo la instalación de centrales nucleares y la construcción y operación de basureros nucleares destinados al almacenamiento de esas sustancias.

Artículo 4.- Exceptúase de lo prescripto en el artículo 2do. A aquellas sustancias radioactivas que están destinadas a las siguientes aplicaciones: a) medicina nuclear; b) industriales y mineras; c) agropecuarias; d) de servicios; y e) científico-experimentales.

- **Córdoba Proyecto de ley**

Artículo 5.- Se prohíbe el tránsito por cualquier medio de transporte de residuos radiactivos en el territorio Provincial.

Artículo 6.-Constituyen excepciones a lo dispuesto por el artículo precedente:

- a) Los elementos combustibles gastados provenientes de reactores de investigación.
- b) Los residuos radiactivos generados por el uso de radioisótopos en aplicaciones biomédicas, industriales e investigación.

Artículo 7.-Se prohíbe, en todo el territorio de la Provincia de Córdoba, la extracción, concentración e industrialización, en todas sus modalidades, de minerales nucleares tales como el uranio y el torio.

Artículo 9.-La Autoridad de Aplicación, podrá realizar contactos y celebrar acuerdos con organismos e instituciones oficiales de jurisdicción Nacional o Provincial, tendientes a la coordinación de pautas de acción conjuntas, asesoramiento, capacitación e intercambio mutuo de información para el mejor cumplimiento de los fines de la presente Ley.

- **San Luis: Ley N° IX-0312-2004 (5567)**

Ley Provincia de San Luis 2004 – San Luis **Zona No Nuclear**

Boletín nro: 12648

Fecha de Sanción: 22/04/2004

Fecha de Publicación: 17/05/2004

San Luis Zona No Nuclear. Declárese Al Territorio De La Provincia De San Luis " Zona No Nuclear". Deroga Ley N° 4958.

Artículo 1.- Declárase al territorio de la provincia de San Luis, ZONA NO NUCLEAR.

Artículo 2.- Prohíbese en el territorio de la provincia de San Luis el transporte, manipulación o depósito de residuos nucleares quemados, cualquiera sea la forma en que se presenten.

Artículo 3.- Podrán transitar por el territorio provincial, aquellos residuos nucleares producidos en la República Argentina, generados por fuentes de utilización aplicadas a fines pacíficos, para beneficio Nacional y Provincial, con sujeción a las condiciones que establezca la reglamentación de la presente Ley.

- **La Rioja Ley N° 6250: Residuos radiactivos, tóxicos peligrosos.**

Sanción: 29/10/1996

Boletín Oficial: 21/02/1997

Artículo 2.- Queda igualmente prohibida la circulación o transporte por el territorio de la provincia de cualquier tipo de residuos radioactivos provenientes de combustible nuclear y desechos de centrales nucleares o planta de procesamiento.

Artículo 3.- Quedan exceptuados de las prohibiciones establecidas en los artículos precedentes, aquellas instalaciones nucleares que persigan como propósito exclusivo el uso medicinal.

- **Catamarca Ley 4865**

San Fernando del Valle de Catamarca, 1 de noviembre de 1995

Boletín Oficial, 6 de febrero de 1996

Artículo 1.- Adhiérese la Provincia de Catamarca, a la Ley Nacional 24.051 y sus anexos, sobre Régimen de Desechos Peligrosos, en cuanto no resulte modificada por los artículos siguientes.

Artículo 2.- Queda prohibido en la Provincia de Catamarca la introducción y depósito de residuos de origen nuclear químicos, biológicos o de cualquier otra índole o naturaleza comprobadamente tóxicos, peligrosos o susceptibles de serlo en el futuro en los términos del artículo 2º, párrafos primero y segundo de la Ley Nacional 24.051.

- **Tucumán Ley N° 6253 – Ley Provincial de Medio Ambiente**

Artículo 47.- Queda prohibido en la Provincia:

- a) Realizar ensayos o experimentos nucleares con fines bélicos.
- b) Generar energía a partir de fuentes nucleares y hasta que la comunidad científica mundial no haya resuelto el tratamiento adecuado de los residuos nucleares.
- c) La introducción o depósito de residuos nucleares, químicos, biológicos o de cualquier otra índole comprobadamente tóxicos o que exista incertidumbre sobre los efectos que pudiese producir.

- **Santiago del Estero Ley N° 6311**

Artículo 1.- Declarase a todo el territorio de la Provincia de Santiago del Estero **zona libre de residuos nucleares y/o industriales**.

Artículo 2.- Prohíbese en todo el ámbito provincial:

- a) La instalación de depósitos transitorios o permanentes de residuos radiactivos
- b) La instalación de repositorios nucleares, cualquiera sea su grado de intensidad radiactiva.
- c) La instalación de depósitos de residuos industriales peligrosos y/o tóxicos para la salud de la población y la calidad del medio ambiente.
- d) La circulación o transporte por cualquier medio de residuos radiactivos, exceptuándose aquellos que cumplan con las normas de seguridad específicas dictadas por la autoridad de aplicación.

Ley Provincial N°6321

Septiembre 1996

Normas Generales y Metodología de Aplicación para la Defensa, Conservación y Mejoramiento del Ambiente y los Recursos Naturales

Artículo 67.- Queda prohibido en el territorio provincial:

- a) Realizar ensayos o experimentos nucleares con fines bélicos.
- b) Generar energía de fuentes nucleares, hasta que la comunidad científica experta en el tema no haya resuelto el tratamiento adecuado de los residuos nucleares.
- c) La introducción o depósito de residuos nucleares, generadores de radioactividad, químicos, biológicos o de cualquier otra índole, comprobadamente tóxicos o que exista incertidumbre sobre los efectos que pudieran producir.

- **Chaco Ley 3902 Zona No Nuclear**

Establece "Zona No Nuclear" el territorio de la provincia del Chaco; prohíbe la prospección, extracción, circulación, procesamiento, almacenamiento o depósito de uranio o cualquier mineral radioactivo y de cualquier material susceptible de ser utilizado en el ciclo nuclear y de sus desechos radioactivos; además todo tipo de instalación destinada a la investigación, desarrollo o utilización de la energía nuclear excepto el uso en medicina. Sancionada el 04-08-93 y promulgada por Decreto N° 1137 del 10-08-93

- **Salta Ley N° 6715**

Expte. N° 91-018M/1989

Sancionada el 01/11/90. Promulgada el 28/09/93.

Publicada en la Boletín Oficial N° 14.289, del 1 de noviembre de 1993

Artículo 23.- De su preservación: El Gobierno Municipal preserva el medio ambiente y protege el sistema ecológico, no podrá autorizar la instalación de plantas nucleares o industriales que presenten un peligro aún potencial para la salud y el medio ambiente.

12.1.3 Marco Legal de Instalaciones Industriales de Uranio

- **Córdoba:**

Ordenanza N°9652

Ciudad de Córdoba, 15 de abril de 1997

Declara a la totalidad del éjido urbano de la Ciudad de Córdoba como zona vedada a la instalación de repositorios nucleares de alta actividad.

Artículo 2.- Prohíbese en la Ciudad de Córdoba aquellas actividades, instalaciones, operaciones de producción, depósito, uso y transporte de elementos radioactivos que puedan poner en peligro la salud de la población y que no cumplan con las normas de protección radiológica, ICRP, UNSCEAR y BEIR utilizadas en la actualidad.

Artículo 3°.- Constituyen excepciones a las prohibiciones mencionadas en el Art. 2°, la utilización de sustancias, insumos o productos radiológicamente activos de uso médico, agropecuario o industrial, previo conocimiento y aprobación por parte de las autoridades competentes en la materia, comprendidas dentro de la legislación nacional y provincial vigentes. También quedan exceptuados de las prohibiciones del art. 2°, el Reactor Nuclear Experimental Industrial instalado en la jurisdicción de la Universidad Nacional de Córdoba y el Complejo Fabril Córdoba, dedicado a la producción de dióxido de uranio, hasta el plazo que establece el Acta Compromiso firmada por la Comisión Nacional de Energía Atómica y el Municipio para su erradicación definitiva del éjido municipal.

Artículo 5°.- Prohíbese en todo el Municipio la circulación de vehículos que transporten residuos radioactivos, con excepción de los vehículos que transporten residuos radioactivos provenientes de uso minero, industrial, agropecuario o de investigación.

Ordenanza N° 8133 (1985), regula el asentamiento de las actividades económicas que impliquen uso del suelo con destino industrial. Las actividades de la empresa DIOXITEK S.A. no están incluidas en el listado de las permitidas dentro del ejido municipal de la Ciudad de Córdoba.[26]

- **Formosa**

Constitución de la Provincia de Formosa

Sancionada el 30 de noviembre de 1957

Artículo 38.- Todos los habitantes tienen derecho a vivir en un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona humana, así como el deber de conservarlo.

Es obligación de los poderes públicos proteger el medio ambiente y los recursos naturales, promoviendo la utilización racional de los mismos, ya que de ellos dependen el desarrollo y la supervivencia humana.

Para ello se dictarán normas que aseguren:

El mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, la preservación de la diversidad genética, y la protección, recuperación y mejoramiento del medio ambiente.

La compatibilidad de la planificación económica, social y urbanística de la Provincia, con la protección de los recursos naturales, culturales y del patrimonio histórico y paisajístico.

La **absoluta prohibición** de realizar pruebas nucleares, y el almacenamiento de uranio o cualquier otro mineral radioactivo y de sus desechos, salvo los utilizados en investigación, salud y los

relacionados con el desarrollo industrial, cuya normativa se ajustará a lo establecido por los organismos competentes. Todos los recursos naturales radioactivos, cuya extracción, elaboración o utilización puedan alterar el medio ambiente, deberán ser objeto de tratamientos específicos a efectos de la conservación del equilibrio ecológico.

Ley N° 1060

Formosa, 26/11/93

Art.13) Queda prohibida la realización de pruebas nucleares; la utilización de sustancias radiactivas de sus desechos, salvo las utilizadas en investigación y salud, cuya normativa se adjuntará a las establecidas por el organismo de aplicación.

Art.28) Es obligatorio realizar el estudio de factibilidad ambiental previo en todos los proyectos que se mencionan a continuación, sin perjuicio de otros que pudiera determinar la autoridad de aplicación en el futuro:

- a) Represas para riego y obras energéticas, incluyendo la protección.
- b) Infraestructura vial y para transporte aéreo y fluvial.
- c) Urbanizaciones.
- d) Servicios especiales comunales tales como manejo de residuos hospitalarios y patológicos en general.
- e) Otros proyectos de desarrollo energético.
- f) Industria química y farmacéutica, petroquímica, industria gráfica y del papel, tintorería industrial, industria de cuero y confecciones, industria de caucho, de la cerámica, del vidrio y del cemento, industria básica del plástico, electrónicas, metalúrgicas, siderúrgicas, plantas de tratamientos y recuperación y disposición de residuos.
- g) Actividad nuclear.
- h) Actividades generadas de contaminación por ruidos.
- i) Explotación y exploración de hidrocarburos.