

CUINAP | Argentina

Año 4 • **2023** | Cuadernos del INAP

Energía nuclear y ambiente

Los programas de restitución ambiental y gestión de residuos radiactivos de la CNEA

Jorge Salvador Zappino

120

Capacitar e investigar para fortalecer las capacidades estatales

CUINAP | Argentina

Energía nuclear y ambiente

Los programas de restitución ambiental y gestión de residuos radiactivos de la CNEA

Jorge Salvador Zappino

120

Autoridades

Dr. Alberto Ángel Fernández

Presidente de la Nación

Ing. Agustín Oscar Rossi

Jefe de Gabinete de Ministros

Dra. Ana Gabriela Castellani

Secretaria de Gestión y Empleo Público

Mag. Leandro Bottinelli

Director Institucional del INAP

Índice

Introducción	10
1 Programa de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU)	16
2 Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR)	44
A modo de conclusión	67
Glosario	71
Referencias bibliográficas	76

Energía nuclear y ambiente



**Jorge
Salvador
Zappino**

Licenciado en Ciencia Política por la Universidad de Buenos Aires (UBA), magíster en Historia Económica y de las Políticas Económicas (UBA), y magíster en Generación y Análisis de Información Estadística (UNTREF). Ejerció como docente universitario en la UBA y desarrolló diversas actividades en otras universidades públicas y privadas del país. Actualmente, se desempeña como investigador en la Dirección de Gestión del Conocimiento, Investigación y Publicaciones del INAP.

Resumen

En la década de 1960, la Argentina decidió comenzar a generar energía eléctrica a partir de la construcción de tres centrales nucleares. Esa decisión implicaba la necesidad de fabricar localmente los elementos combustibles (EECC) para los reactores. De allí que la minería del uranio fue, desde el comienzo, un factor fundamental de la historia del sector nuclear en el país.

Entre las décadas de 1950 y 1990, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) llevó adelante diversas exploraciones y evaluaciones de zonas uraníferas en Córdoba, La Rioja, Salta, Chubut, Mendoza y Catamarca. En 1982, se puso en marcha la planta de conversión en Córdoba (futura Dioxitek S.A.) y la fábrica de EECC en Ezeiza (futura CONUAR S.A.). A partir de ese momento, las centrales nucleares fueron abastecidas con EECC fabricados a partir de uranio extraído de yacimientos argentinos, principalmente del yacimiento de Sierra Pintada en San Rafael (Mendoza).

En 1997, la CNEA decidió detener la producción del Complejo Minero Fabril de San Rafael, el cual quedó finalmente inactivo cuatro años después. Además de este complejo, también fue decreciendo la actividad en todos los yacimientos. Desde entonces, todo el concentrado de uranio se importa.

El alcance del Programa de Remediación de la Minería del Uranio (PRAMU) involucra como objetivo final a todos los sitios en donde se desarrolló esa actividad en nuestro país. Con este proyecto de remediación, la Argentina se suma al grupo de referentes en restitución ambiental, junto a los Estados Unidos, Alemania, Canadá, Francia y Australia, además de ser el primer país latinoamericano en culminar este tipo de obras de infraestructura pública.

En la ciudad de Malargüe, provincia de Mendoza, se encuentra el primer sitio de restauración donde se han completado los trabajos de remediación en

2017. Allí surgió, entonces, un parque temático denominado «El Mirador», un espacio verde de siete hectáreas de esparcimiento para que el sitio no quede aislado y sea devuelto a la comunidad de la ciudad.

Por otro lado, el Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR), que lleva adelante la CNEA, es responsable de la gestión segura de los residuos radiactivos y los EECC gastados provenientes de todas las actividades nucleares que se desarrollan en el país. Su objetivo es el confinamiento y aislamiento de esos residuos por un período determinado y en condiciones tales que no impliquen un riesgo radiológico para las personas ni para el ambiente, tanto para las generaciones presentes como para las futuras.

Palabras clave

Medioambiente, minería, uranio, residuos nucleares.

Abstract

In the 60's, Argentina decided to start generating electricity by building three nuclear power plants. That decision implied the need to locally manufacture the fuel elements (EECC) for the reactors. Hence, uranium mining was from the beginning a fundamental factor in the history of the nuclear sector in Argentina.

Between the 50's and 90's, the CNEA carried out several explorations and evaluations of uranium-bearing areas in Córdoba, La Rioja, Salta, Chubut, Mendoza and Catamarca. In 1982, the conversion plant in Córdoba (currently called Dioxitek S.A.) and the EECC factory in Ezeiza (currently called CONUAR S.A.) were started up. From that moment on, the nuclear

power plants were supplied with EECC made from uranium extracted from Argentine deposits, mainly from the Sierra Pintada in San Rafael, Mendoza.

In 1997, the CNEA decided to stop the production of the San Rafael Manufacturing Mining Complex, which was finally inactive for four years later. In addition to the San Rafael complex, the activity in all the deposits decreased. Since then, all uranium concentrate is imported.

The scope of the Uranium Mining Remediation Program (PRAMU) involves as a final objective all places where the referred activity was carried out in our country. With this remediation project, Argentina joins the group of benchmarks in environmental restitution, along with the United States, Germany, Canada, France and Australia, as the first Latin American country to complete it.

Malargüe, in the Province of Mendoza, is the first restoration site where the remediation work has been completed in 2017. There, a theme park called «El mirador» emerged, a green space of seven hectares of recreation so that the site is not isolated and is returned to the community of Malargüe.

On the other hand, the National Radioactive Waste Management Program (PNGRR) carried out by the CNEA is responsible for the safe management of radioactive waste and spent EECC from all nuclear activities in the country. Its objective is the confinement and isolation of these residues for a certain period and in such conditions that they do not imply a radiological risk for people and the environment, both for present and future generations.

Key words

Environment, mining, uranium, nuclear waste.

Introducción

En la década de 1950, la Argentina ingresó en un proceso de industrialización, lo cual provocó un debate acerca de la generación de la energía necesaria para ese crecimiento industrial. Durante los años de la Primera Guerra Mundial, algunos sectores de las Fuerzas Armadas comenzaron a interesarse en la situación de dependencia que tenía la Argentina respecto a la importación del carbón que provenía de Gran Bretaña. Luego, con la Segunda Guerra Mundial, esos temores se profundizaron al tiempo que el carbón comenzaba a ser desplazado como insumo clave por el petróleo. Con el golpe de Estado de 1943, el grupo de militares que había conquistado el poder político pugnaba por el fomento de una industria nacional integrada como condición indispensable para garantizar la seguridad del país. Así, la producción de acero, aeroplanos, automóviles y la industria química en general pasaron a contar con la intervención directa del Estado (Iramain, 2021).

En ese contexto, el Gobierno y un grupo de militares de orientación industrialista vieron en la energía atómica un camino para diversificar las fuentes de energía (Hurtado, 2014). En efecto, el general Manuel Savio insistió en la necesidad de iniciar la prospección geológica a través de una asociación entre Fabricaciones Militares (FM) y la Universidad de Cuyo (UNCuyo) para desarrollar los yacimientos de uranio. Luego, presentó un proyecto en donde se proponía preservar los depósitos de minerales estratégicos para el área atómica y se prohibía su exportación¹. Por otro lado, en la Constitución Nacional de 1949, se declaró como bienes nacionales a los yacimientos de hidrocarburos. En ese momento, además, se incorporaron las primeras reservas de uranio.

¹ El pedido de Savio se formalizó mediante el Decreto 22.855/1945.

En 1954, durante una exploración para hallar cobre, se descubrió el depósito de uranio de Huemul. Posteriormente, comenzó la explotación del yacimiento de Agua Botada, vecino a Huemul, ambos en las cercanías de Malargüe, Mendoza. En 1958, durante una prospección aérea, se hallaron los depósitos de Don Otto y Los Berthos en Salta y Los Adobes en Chubut.

Durante la década de 1960, fueron descubiertos, por prospección terrestre, los depósitos Schlagintweit en Córdoba y La Estela en San Luis. Los recursos de esos depósitos fueron explotados en los centros de producción de Los Gigantes y La Estela. Hacia fines de la misma década, fue descubierta el yacimiento de Sierra Pintada en Mendoza.

En esos años, la CNEA llevó adelante, además, diversas exploraciones y evaluaciones de zonas uraníferas en Córdoba, La Rioja, Salta y Catamarca, donde comenzaron algunas explotaciones regulares. Estas exploraciones continuarían en la década siguiente en Los Adobes (Chubut), Huemul y Sierra Pintada (Mendoza), y Don Otto (Salta). En 1982, se puso en marcha la planta de conversión de polvo de dióxido de uranio en Córdoba (futura Dioxitek S.A.) y la fábrica de elementos combustibles nucleares (EECC) en Ezeiza (futura CONUAR S.A.).

En 1965, la Argentina emprendió la generación de energía eléctrica a partir de la construcción de tres centrales nucleares. Esa decisión implicó la necesidad de fabricar localmente los EECC necesarios para esas centrales. Desde ese momento, los reactores fueron abastecidos con combustibles fabricados a partir de uranio extraído de yacimientos argentinos, principalmente de Sierra Pintada en Mendoza (Hurtado, 2014; De Dicco *et al.*, 2015; Quilici, 2010; Zappino, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Durante la década de 1970, se efectuaron exploraciones en la Patagonia, las cuales dieron como resultado el descubrimiento de los yacimientos Cerro Cándor y Cerro Solo (Chubut). Luego, en 1978, se encontró el yacimiento de Laguna Colorada (Santa Cruz).

En el transcurso de los años ochenta, se descubrieron los yacimientos de Achala (Córdoba) y Las Termas (Catamarca). En 1990, comenzó la explotación del yacimiento de Cerro Solo, y se continuó con la exploración y la determinación de la favorabilidad geológica del yacimiento Las Termas.

El descubrimiento de la mayor parte de los yacimientos fue el resultado del accionar de la CNEA, quien registró la propiedad de los derechos mineros. Desde 1956 hasta 1995, la legislación estableció un carácter especial para los minerales nucleares cuyo objeto principal era asegurar el abastecimiento de uranio a las centrales nucleoelectricas (Comisión Nacional de Energía Atómica [CNEA], 2022).

Durante más de 50 años, la CNEA explotó los yacimientos para producir concentrados de uranio en los complejos fabriles de la ciudad de Córdoba, Malargüe, Tonco, Pichiñán, San Rafael, Los Gigantes, La Estela y Los Colorados, lo cual dio como resultado que, a inicios de la década de 1980, el país completara el ciclo de combustible nuclear con la incorporación de la planta de producción de UO_2 (polvo de dióxido de uranio necesario para los EECC). De esta manera, la CNEA se convirtió en el único organismo estatal con los conocimientos necesarios para poner en marcha todas las etapas de la minería: prospección, exploración, evaluación, factibilidad, producción y gestión ambiental de los yacimientos mineros.

En los noventa, en el marco del proceso de privatización del sector de energía eléctrica, la CNEA fue dividida y se creó la empresa estatal Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) para operar las centrales nucleares.

En esa misma década, se modificó el marco regulatorio de la minería del uranio y todos los sitios dejaron de producir. En 1997, la CNEA detuvo la producción del Complejo Minero Fabril de San Rafael, el cual quedó inactivo cuatro años después. Además, decreció la actividad en otros lugares como Achala (Córdoba) y Fiambalá (Catamarca). Desde entonces, todo el concentrado de uranio pasó a importarse (Palamidessi, 2006; Gallegos, 2015; Plaza, 2003).

Actualmente, los complejos mineros fabriles donde se procesó uranio requieren una intervención humana que permita disminuir el impacto de esas explotaciones, ya que presentan características que afectan al ambiente o podrían hacerlo en el futuro. Las explotaciones produjeron grandes cantidades de residuos que deben ser gestionados en forma segura. Entre ellos están la roca estéril, minerales de baja ley y agua de mina. En la etapa del procesamiento se generaron, además, colas de mineral (material del cual se ha extraído la mayor cantidad posible del uranio que contenía), lodos de precipitación y efluentes líquidos.

Los residuos sólidos y líquidos son fuentes potenciales de repercusión química y radiológica que pueden dispersarse en el ambiente. Las colas de mineral se caracterizan por sus grandes volúmenes y relativamente bajas concentraciones de radionucleidos naturales de larga vida. Alrededor del 15 % de la radiactividad original del mineral pasa al concentrado y una vez que los radionucleidos de corta vida han decaído, el 70 % de la radiactividad original del mineral permanece en las colas. Si no se tomaran previsiones, las colas pueden producir contaminación ambiental a largo plazo.

Los residuos de mina presentan riesgo ambiental, porque contienen sulfuros que son una fuente potencial de generación de drenaje ácido. La neutralización de los efluentes ácidos del proceso, con cal o carbonato de calcio, provoca lodos de precipitación compuestos principalmente por sulfato de calcio y otros elementos como hierro, aluminio, etc.

Por otro lado, el agua de mina puede contener contaminantes radiológicos y convencionales, y debe ser reciclada para ser utilizada como agua de proceso. Además, las cantidades excedentes deben ser tratadas para ser descargadas al ambiente.

Los efluentes líquidos que se generan en el procesamiento de los minerales de uranio son principalmente las soluciones residuales provenientes de las etapas de extracción por solventes, además de otras soluciones residuales producidas en las etapas de precipitación y lavado de los precipitados de uranio. Estas soluciones también son fuentes potenciales de contaminación.

Ante esta situación, se hacía necesario tomar medidas, ya que, de no hacerlo, los sitios podrían presentar distintas combinaciones de efectos como limitaciones al uso del suelo y del agua, impedimentos para el desarrollo de determinadas actividades, aumento de la probabilidad de contraer cáncer e intranquilidad social derivada de la percepción que el público posee del problema. En este sentido, la CNEA puso en marcha dos programas para disminuir las distintas formas de contaminación producidas por los residuos, tanto de la actividad minera como del resto de las actividades nucleares: el Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR) y el Programa de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU). El primero de ellos tiene como objetivos la gestión segura de los residuos radiactivos y los EECC gastados provenientes de todas las actividades nucleares que desarrolla la Argentina. El segundo

tiene como objetivo la remediación ambiental en todos los sitios donde se desarrolló la minería del uranio.

Este trabajo consta de dos secciones. En la primera se analizará el PNGRR y en la siguiente se estudiará el PRAMU. Finalmente, en las conclusiones, indagaremos su impacto e importancia para el futuro desarrollo del sector nuclear en la Argentina.

1

Programa de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU)

La materia prima de los EECC para los reactores nucleares de potencia que producen energía nucleoelectrónica es el uranio, a partir del cual se produce el polvo de dióxido de uranio (UO_2). El UO_2 se utiliza para fabricar las pastillas de uranio que se introducen en las barras de zircaloy, con las que, finalmente, se producen los EECC.

En la Argentina, hubo ocho centros productores llamados «complejos mineros fabriles», de los cuales cinco eran explotados por la CNEA y tres por empresas privadas. En esos complejos, las rocas mezcladas con minerales compuestos por elementos químicos conformaban la materia prima.

En la roca se distingue la «mena» o mineral de interés minero y la «ganga» o «roca de caja», que comprende los minerales que acompañan a la primera. Para que la explotación y tratamiento de una «mena» sea rentable, la concentración del elemento (ley de mineral) de interés debe tener valores suficientes para que los costos y ganancias sobre el producto sean compatibles con los precios de venta en el mercado (Plaza, 2003).

Las «menas» contienen elementos como oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, cobre, zinc, vanadio, cromo, etc., y otros no importantes económicamente, pero todos ellos contaminantes, ya que vuelven impuro

al producto final, además de contaminar el ambiente si no se toman las medidas pertinentes.

Una vez que se extrae el mineral, este es triturado mediante una solución de ácido sulfúrico en un proceso denominado «lixiviación». Luego, esa solución es tratada con resinas de intercambio iónico para liberar el uranio mediante precipitación.

Como resultado de ese trabajo, en esos sitios de producción quedaron las denominadas «colas de mineral». Las últimas actividades de producción se realizaron en 1997. A partir de ese momento, se mantuvieron las tareas de control y monitoreo ambientales. A partir de la creación del PRAMU comenzaron, en cada uno de esos sitios, a planificarse trabajos de remediación ambiental.

Según Molinari (2013), la legislación ambiental argentina se vio influenciada por hechos y movimientos a nivel mundial producidos a finales de la década del sesenta y principios de los años setenta. Esto derivó en la incorporación de la temática en las legislaciones provinciales desde el regreso de la democracia en 1983 y luego en el dictado de normas nacionales, a partir de la reforma constitucional de 1994. De esta manera, los temas ambientales se incorporaron en las agendas de los medios de comunicación y del público, lo que provocó el debate de las políticas de conservación del medioambiente. En ese marco, la sanción de la Ley 25.675, denominada «Ley General del Ambiente», estableció los principios de un desarrollo sustentable. Un punto muy importante, en este sentido, es la participación ciudadana mediante audiencias públicas como instancia obligatoria, aunque no vinculante. De esta manera, se ofrece a la comunidad, a las organizaciones de la sociedad civil y a las autoridades gubernamentales la posibilidad

de conocer y ser parte de un proyecto, la conveniencia de las distintas opciones y los impactos que pueden tener en el ambiente.

Para lograr este objetivo, la CNEA puso en marcha el PRAMU en todos los sitios donde se desarrollaron explotaciones de uranio, según lo dicta la Ley 25.018 de Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos de 1998. Según lo normado por el programa, la ingeniería de remediación de los pasivos ambientales debe ser realizada de acuerdo a las características de cada sitio.

En 1998, la Argentina comenzó las negociaciones con el Banco Mundial (BM) para la financiación del proyecto y, dos años después, se creó la Unidad Ejecutora. A principios de 2002, y debido a la crisis económica, se interrumpieron las negociaciones, pero la CNEA continuó trabajando con recursos propios hasta 2004, año en que se reanudaron las gestiones, las cuales finalizaron en 2008 con la obtención de un préstamo por 30 millones de dólares. Posteriormente, el Decreto 72/2010 aprobó el contrato del préstamo. Un año después, la CNEA realizó la apertura de los sobres de la Licitación Pública Internacional 1/2010 para la gestión de las colas de mineral en el sitio Malargüe (Molinari, 2017).

El PRAMU se propuso mejorar las condiciones de los depósitos de las colas de la minería del uranio, al considerar que, si bien se encontraban controlados, se debía garantizar la sostenibilidad de esa situación a través del tiempo, para asegurar la protección de las personas y el medioambiente. Sobre la creación del programa, el Dr. Rodolfo Kempf, gerente del PNGRR de CNEA, afirma:

El PRAMU surgió del PNGRR para la Convención Conjunta de Seguridad de los Combustibles Gastados y Residuos Radiactivos que firmó Argentina en

el año 2003. El PNGRR y el PRAMU son dos temas que convergen en un convenio internacional y ambos dependen de la misma gerencia. Cuando se consiguió un crédito del BM para hacer la remediación, se creó el programa como un desagregado orgánico para cumplir con los requisitos del préstamo, por ejemplo, el seguimiento de la utilización de los fondos prestados (R. Kempf, comunicación personal, 10 de agosto de 2022).

Mediante la puesta en marcha del PRAMU, la CNEA debe gestionar los residuos derivados de la minería del uranio y los que provengan de yacimientos mineros abandonados o establecimientos fabriles fuera de servicio. Con este fin, debe cumplirse con los requerimientos técnicos de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), que tiene la responsabilidad de fiscalizar y controlar la seguridad radiológica y nuclear a nivel nacional, y presentar los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) a las correspondientes autoridades de aplicación locales para su evaluación y posterior control. Estos sitios se hallan en seis provincias de la Argentina: Mendoza, Córdoba, San Luis, La Rioja, Salta y Chubut.

Este programa prevé la aplicación adecuada de estas medidas con un racional uso de los recursos mediante la aplicación de procesos de análisis de riesgo y costo-beneficio. El proyecto asegura el mejoramiento de las condiciones ambientales, ya que garantiza la minimización de factores que atenten contra la salud de la población.

Los sitios en estudio en los cuales el PRAMU realizará las tareas de restitución ambiental son:

- Sitio Córdoba (Córdoba)
- Sitio Huemul (Mendoza)

- Sitio Los Gigantes (Córdoba)
- Sitio Pichiñán (Chubut)
- Sitio Tonco (Salta)
- Sitio La Estela (San Luis)
- Sitio Los Colorados (La Rioja)
- Sitio Malargüe (Mendoza)

La producción total de cada sitio se encuentra en la Tabla 1.

Tabla 1. Producción de concentrado de uranio según sitio

Sitio	Provincia	Toneladas procesadas
Sitio Córdoba	Córdoba	18.000
Sitio Malargüe	Mendoza	710.000
Sitio Tonco	Salta	460.000
Sitio Pichiñan	Chubut	145.000
Sitio San Rafael	Mendoza	1.700.000
Sitio Los Gigantes	Córdoba	2.400.000
Sitio La Estela	San Luis	70.000
Sitio Los Colorados	La Rioja	155.000
	Total	5.658.000

Fuente: Plaza (2003)

El primer sitio en el que se iniciaron los trabajos ha sido Malargüe, culminados en 2017.

1.1 La legislación minera argentina

La actividad nuclear está regida por dos normas específicas: el Decreto-Ley 22.498 de 1956, ratificado por la Ley 14.467 de 1958, y la Ley 24.804 de 1997, denominada «Ley Nacional de la Actividad Nuclear», que modifica parcialmente a la primera.

La Ley 24.804 establece que el Estado nacional fijará la política y ejercerá las funciones de investigación y desarrollo, regulación y fiscalización a través de la CNEA y de la ARN. A su vez, la Argentina cuenta con un Código de Minería (Ley 1919 de 1886). Con el dictado de las reformas a este código, mediante la Ley 24.498 de 1995, los minerales nucleares ingresaron como minerales de primera y segunda categoría a través del artículo 205. A su vez, el artículo 207 obliga a quienes exploten minas que contengan minerales nucleares a presentar ante la autoridad competente un plan de restauración del espacio natural afectado por los residuos y a neutralizar, conservar o preservar las colas líquidas o sólidas y otros productos que posean elementos radiactivos o ácidos. Ante casos de incumplimiento, existe un régimen de sanciones. A esta legislación se agregan normativas provinciales que regulan la actividad minera.

1.2 Descripción de los sitios de actividad minera

En los siguientes apartados, realizaremos una breve descripción de la historia y actualidad de cada uno de los sitios en los cuales existió minería del uranio, basada en los documentos de CNEA (2005, 2020) y el trabajo de Plaza (2003). Como se afirmó anteriormente, el único sitio donde se implementó el PRAMU en forma completa fue Malargüe, por lo que dejaremos para el final la descripción de ese trabajo de remediación.

1.2.1 Sitio Córdoba

El Complejo Fabril Córdoba (CFC) fue creado en 1952 con el fin de determinar las posibilidades de obtener a escala industrial concentrados de uranio que partieran de minerales de diferentes depósitos. Al inicio de sus actividades, el sitio del Complejo se encontraba en un área muy poco poblada, la que paulatinamente fue creciendo hasta definir la situación actual, con barrios residenciales a su alrededor.

El predio de 9,2 ha pertenecía originalmente a Fabricaciones Militares (FM) y se sitúa en el barrio Alta Córdoba. En sus instalaciones, se desarrolló la tecnología de purificación de concentrados de uranio. A partir de 1961, se iniciaron ensayos a escala de laboratorio y de lixiviación en pilas; en 1976, se montó la instalación de purificación con desarrollo de ingeniería nacional; y, en 1982, finalizó el montaje de instalaciones de purificación y conversión a polvo de UO_2 . Estas instalaciones eran provenientes de la República Federal de Alemania. Las colas de tratamiento de los minerales procesados con anterioridad a 1979 se destinaron a una zona de estériles dentro del predio del Complejo. Actualmente, en el lugar funciona la planta de producción de UO_2 operada por la empresa pública Dioxitek S.A. Como

producto de las actividades de concentración, existe una gran cantidad de colas de tratamiento, las cuales deberían ser reubicadas (Zappino, 2022c). El objetivo del PRAMU, en este caso, es realizar la ingeniería necesaria para realizar la gestión de las colas allí depositadas y la restitución del área.

1.2.2 Sitio Huemul (Mendoza)

El descubrimiento de los depósitos de la zona, que incluyen el yacimiento Huemul, en el que se consideran tres sectores: Huemul, Agua Botada y Arroyo Seco, se produce en 1952, mientras que su explotación se inicia en 1954, para el abastecimiento de minerales a la Planta Malargüe (CFM), y la misma se continúa hasta 1976, año en que cesan las actividades por considerarse agotadas las reservas económicas.

En la exploración y explotación de tipo subterránea, de los tres sectores se ejecutaron 25.000 m de perforaciones y 7000 m de labores mineras. La explotación finalizó en 1976 y se recuperaron aproximadamente 180 tn de octóxido de trianio (U_3O_8), que corresponden a 153 tn de uranio y 850 tn de concentrado de uranio en el CFM a partir del tratamiento de 127.700 tn de mineral.

A partir del cese de actividades, se procedió a gestionar el abandono del sitio en los términos fijados por la Dirección Provincial de Minería y se entregaron las instalaciones.

A partir del abandono del yacimiento, quedaron en superficie pilas de acopio de material estéril y mineral de baja ley. Por otra parte, las bocas de minas, las instalaciones edilicias y de infraestructura del yacimiento fueron clausuradas. En 2001 fue instalada cartelera de prevención y se

construyó un cerco perimetral de seguridad de 335 m de extensión, para aislar un sector que presentaba incipientes derrumbes y probabilidades de otros mayores.

1.2.3 Sitio Los Gigantes (Córdoba)

El Complejo Minero Fabril Los Gigantes se encuentra ubicado en la Sierra Grande, a 30 km de la ciudad de Villa Carlos Paz. Desde 1957 en adelante, se realizaron tareas de prospección y exploración que delimitaron un cuerpo mineralizado (Yacimiento Schlagintweit) de bajo tenor, pero de fácil y rápido beneficio. Fue explotado entre 1982 y 1989 por contrato entre la CNEA y una empresa privada.

La explotación se desarrolló a cielo abierto y sus dimensiones alcanzan unos 500 m en sentido NE-SO y unos 300 m en su parte más desarrollada NO-SO. El tratamiento del mineral extraído se realizaba por medio de las operaciones de trituración, lixiviación en pilas mediante el uso de ácido sulfúrico, fijación en resinas de intercambio iónico, elución, precipitación y secado. El producto base se obtenía como concentrado comercial de uranio para la fabricación de polvo de UO_2 en la planta del Complejo Fabril Córdoba.

Los efluentes líquidos de las resinas de intercambio iónico se neutralizaban con cal y luego se enviaban a los diques de almacenamiento de líquidos y precipitados de la neutralización. Las colas de tratamiento se acumularon sobre un tramo aproximado de 800 m del faldeo septentrional del cauce del arroyo de la Mina.

Este complejo operó hasta 1990. La explotación y producción fueron efectuadas por un tercero a través de un contrato de concesión. Una vez restituído el lugar, deberán reintegrarse los terrenos de libre uso al propietario y establecer condiciones para aquellos terrenos que resulten con limitaciones a la libre disponibilidad.

Los materiales depositados en el sitio, como producto de la explotación, son 2.400.000 tn de colas, 1.000.000 de tn de estériles y 600.000 tn de mineral marginal. Si bien no hay población en las cercanías, sí existen materiales aguas arriba de zonas turísticas. Como resultado de las operaciones, también se generaron lodos de precipitación (101.350 m³) y efluentes líquidos.

En el marco del PRAMU, el objetivo para este sitio es realizar la ingeniería necesaria y proceder a su clausura, desmantelamiento de la instalación fabril, gestión de las colas y restitución del área.

1.2.4 Sitio Pichiñán (Chubut)

Los trabajos de exploración de uranio en la Patagonia tienen sus orígenes en la observación de muestras de rocas radiactivas y anomalías de perforaciones petrolíferas desarrolladas en el Golfo San Jorge entre 1952 y 1953. Con base en los antecedentes reunidos, la CNEA inició las actividades de prospección a partir de 1956 en las provincias de Chubut, Santa Cruz y Río Negro. La planta Los Adobes trabajó desde 1977 hasta 1981, en donde se trató mineral extraído de dos explotaciones a cielo abierto: los yacimientos Los Adobes (90.198 tn de mineral, ley media de 0,12 % de uranio y 108 tn uranio) y Cerro Cóndor (57.340 tn de mineral, ley de 0,078 % uranio y 45 tn uranio).

En Pichiñán, a 350 km de la ciudad de Trelew, operó una planta de concentración de uranio que se abastecía de la mina Los Adobes. La planta trabajó entre 1976 y 1980 y al cierre se procedió a gestionar las colas de tratamiento, que alcanzan a 145.000 tn.

1.2.5 Sitio Los Adobes

En 1998, la cantera Los Adobes fue parcialmente rellenada. La planta, de 84.530 m² de superficie, fue desmantelada completamente.

En el área cercada quedan incluidos el sector de las pilas de lixiviación (85.000 tn), las cisternas de lixiviación, el dique de desechos líquidos y la escombrera de desechos sólidos (60.000 tn). Los residuos fueron cubiertos con un espesor de 10 cm de ripio para protegerlos de la acción erosiva del viento y la lluvia, mientras que la flora que ha comenzado a cubrir los residuos contribuye a retener el material. Dentro del predio, funcionó un dique de colas con base de arcilla donde se descargaban los efluentes líquidos para su evaporación natural.

Tanto en la explotación del yacimiento Los Adobes como en Cerro Cóndor se utilizó el sistema de explotación a cielo abierto, sin accesos subterráneos. No se detectaron, durante o luego de la explotación, puntos de descarga de agua dentro de las canteras. El nivel freático se ubica por debajo del nivel inferior de la explotación en ambas canteras.

De la evaluación de la información existente, se pudo estimar que, debido a la baja generación de radón en el área de estudio y a la distancia (70 km) al centro poblado más próximo, no existiría impacto ambiental por esta vía. Dadas las características de la zona en cuanto a la no existencia de

aguas superficiales permanentes y a la profundidad del agua subterránea, el probable impacto sobre el agua sería mínimo.

Uno de los objetivos del PRAMU para este sitio es efectuar una evaluación ambiental del área de manera de detectar los impactos producidos durante las explotaciones de los yacimientos y el funcionamiento de la instalación de producción de concentrado, además de estimar los riesgos asociados a las distintas fuentes de contaminación existentes.

1.2.6 Sitio Tonco (Salta)

En 1959, la CNEA comenzó a desarrollar trabajos de prospección en ambientes sedimentarios cretácicos y terciarios, lo cual condujo a la identificación de numerosos indicios y depósitos uraníferos en la región de los Valles Calchaquíes. Por prospección aérea, se encontraron los yacimientos Don Otto, Pedro Nicolás, Los Berthos, Güemes y Emmy en Amblayo. En 1960 la institución inició la exploración en Tonco, y al sur de esta se ubicó Don Otto. Las etapas de exploración, explotación y beneficio se realizaron entre 1960 y 1981.

La explotación se realizó mediante labores subterráneas, con un total de 18.325 m de galerías. En la mayoría de los sectores, el trabajo se realizó desde la superficie y hasta una profundidad de 80 m, con excepción del extremo norte del yacimiento donde la explotación no llegó a la superficie. Entre 1963 y 1980, la explotación se desarrolló con escasas interrupciones. Se extrajeron 479.000 tn de mineral, con 401 tn de uranio y una ley media de 0,084 % de uranio.

En la mina Los Berthos, se realizaron 6925 m de galerías, cortavetas y chimeneas. La mayor parte del mineral extraído fue tratado en la planta ubicada en Don Otto, mientras que un menor volumen de mineral se procesó en el Complejo Fabril Córdoba. El mineral de la mina Güemes fue tratado también en esa planta. En total, se realizaron 1605 m de labores mineras subterráneas en Los Berthos.

La explotación finalizó en 1981. La planta e instalaciones anexas ocupaban 25 hectáreas con inclusión de pilas y escombreras (500.000 tn). Actualmente, los edificios se encuentran cerrados y deben ser demolidos y gestionados. No se ha detectado descarga de agua en ningún lugar de la superficie. Desde 1996, una empresa privada, contratada por la CNEA, ejerce vigilancia permanente y controla el acceso al área de la exzona fabril y mina Don Otto a través de una barrera sobre el camino de ingreso.

La planta operó durante toda su vida útil sin un sistema de retención de desechos líquidos y sin neutralización. La contaminación ácida y radiológica superficial originada en la zona de descarga fue removida y confinada en los piletones de preconcentrado en ocasión del cierre de la instalación. Los riesgos físicos están limitados a las zonas de exploración y explotación subterránea con exposición al exterior (chimeneas, piques y cortavetas) que puedan poner en riesgo a las personas y los animales.

En la mina Los Berthos, algunos sectores de acceso más difícil carecen de cerramiento, aunque gran parte fue vallado y señalizado.

Las planchadas de lixiviación son tres y, en conjunto, contienen aproximadamente 130.000 tn de mineral, de manera que cubren una superficie de 17.500 m², con una ley de 170 g/t de uranio. El mineral procesado se ubicó en su mayor parte en tres escombreras principales (norte, oeste

y sur), sin base impermeable, con un volumen total de aproximadamente 310.000 tn, una superficie de 34.000 m² y una ley media variable entre 170 y 230 g/tn de uranio.

Debido a la aridez y la situación geomorfológica del área, no están previstas avalanchas de barro; la acción del agua generada por las lluvias estivales no implicaría riesgo de crecientes que modifiquen significativamente el área. Con respecto a los riesgos de fallas estructurales en los depósitos de colas, no se han detectado evidencias de su existencia. Con la creación del Parque Nacional Los Cardones, la población estable del área ha disminuido, por lo tanto, también ha menguado la cantidad de ganado en el área, lo cual posibilita la recuperación parcial de la flora y la fauna.

Se estima que los efectos producidos en el área son relativamente bajos, a excepción del posible impacto visual debido a las modificaciones físicas resultantes de la actividad minera. No obstante, ante el incremento de riesgo físico de personas y animales por efecto de la creación del parque nacional, se mejoraron la señalización, el vallado y el taponamiento de labores mineras identificadas con algún grado de peligrosidad.

En este caso, el objetivo del PRAMU es efectuar una auditoría ambiental del área de manera de detectar los posibles impactos producidos durante las explotaciones y estimar los riesgos asociados a las distintas fuentes de contaminación existentes. De los reconocimientos del área, se estima que no existirían situaciones que hagan prever deslizamientos de tierra ante eventuales sismos.

1.2.7 Sitio La Estela (San Luis)

En 1952, en la mina La Marquesa, su propietario descubrió minerales oxidados de uranio. En 1953, subdividió su propiedad para dar origen al yacimiento La Estela, que hasta 1964 produjo 3400 tn de mineral de alta ley (4,000 % de uranio). Después de un período de inactividad, en 1980, la CNEA contrató la provisión de concentrados de uranio con la empresa minera Uranco S.A., la cual produjo alrededor de 22 tn de uranio hasta 1990.

Las actividades mineras de esta empresa en el sitio desarrollaron la apertura de dos canteras de ladera denominadas «Este» y «Oeste». Los taludes de ambas canteras forman una sola pieza y muestran escombros de relleno derivados de la actividad de explotación y producto de derrumbes, debido a la inestabilidad de las paredes como consecuencia del gran diaclasamiento del granito y su disposición desfavorable para las labores de explotación. Actualmente, los escombros tienen una pendiente natural generalizada de 35°, excepto algunos sectores de taludes con ángulos de reposos inestables, en los que la empresa ejecutó tareas de saneamiento y/o vallados de seguridad.

Las escombreras fueron ubicadas sobre el curso del Río Seco y redistribuidas por este durante las crecientes, de manera que el mismo cauce del río es el punto de descarga principal de las aguas que circulan por las labores de explotación.

En 1990, la empresa finalizó las actividades del complejo, desmanteló las instalaciones de producción de concentrado y recubrió las colas de proceso. La escombrera de estériles fue dispuesta directamente sobre el lecho del arroyo, lo cual dio origen a una laguna aguas arriba. Las crecientes estacionales terminaron cortando la escombrera y redistribuyendo el

material aguas abajo, lo cual modificó la altura del aluvión, que en su extremo se incrementó en aproximadamente 3,5 m.

El curso del arroyo ha sido alterado a nivel paisajístico y probablemente aportó uranio al agua de lluvia que circula por el terreno. Además, queda latente el peligro de una ruptura violenta del tapón remanente con las consecuencias previsibles aguas abajo, ya que el curso del arroyo continuará en la búsqueda de su perfil natural.

El área de pilas fue cubierta con material estéril. El muestreo apropiado de las escombreras requiere herramientas adecuadas y una campaña específica a esos fines. En el lugar hay gestionadas 70.000 toneladas de colas y 1.140.000 tn de estériles.

Los objetivos del PRAMU para este sitio son realizar la auditoría ambiental y, a partir de los resultados obtenidos, estudiar las distintas opciones tecnológicas para la mitigación de los posibles impactos producidos y los potenciales futuros.

1.2.8 Sitio Los Colorados (La Rioja)

El depósito integraba el distrito uranífero Los Colorados, descubierto por la CNEA en 1974 a través de la prospección aérea. Luego, continuó con trabajos geológicos y perforaciones hasta 1977. En 1987, la CNEA solicitó a la Dirección de Minería de La Rioja la inscripción de abandono.

En 1989, la Uranco S.A. obtuvo la concesión de la mina y retomó los trabajos geológicos-mineros del yacimiento y, entre 1992 y 1996, realizó la explotación a cielo abierto y el tratamiento del mineral en pilas, de manera

que movilizó casi 1.000.000 tn de estéril, 135.680 tn de mineral tratado, con una ley de 0,064 % de uranio, y produjo 55 tn de uranio que fueron comercializados a CNEA.

Para el tratamiento del mineral, se trituró a un máximo de 2" y se construyeron pilas de 2 a 3 m de altura (en superficie previamente impermeabilizada). Una vez formadas las pilas, el uranio fue extraído por lixiviación a través del método de inundación con una mezcla de agua y ácido sulfúrico. El líquido recogido del drenaje de las pilas se trató en una planta de concentración por medio de resinas de intercambio iónico. El producto final que se entregó a la CNEA fue diuranato de amonio con un contenido de uranio entre un 65% y 70%.

Durante la vida del yacimiento y para su posterior cierre, se contó con la ayuda de laboratorios propios y la supervisión de la ARN para todo lo relacionado con la seguridad convencional y la protección radiológica. Al finalizar la explotación, Uranco presentó un programa de gestión de la mina, instalaciones de la planta y servicios auxiliares. La ARN autorizó las actividades, que consistieron en cubrir la planchada de pilas con un horizonte suelo limo-arcilloso, el desmantelamiento de todas las instalaciones, previa descontaminación y nivelación de los terrenos para evitar la acumulación de agua. El Complejo Minero Fabril Los Colorados cesó sus actividades en 1996.

El campo donde se sitúa el complejo fue adquirido por una empresa para instalar un emprendimiento turístico. Ante esta situación, la Dirección General de Minería de La Rioja observó daños por erosión en la parte superior del área de pilas, motivo por el cual solicitó a la CNEA su intervención. Esta envió una comisión de evaluación que visitó el área,

para que describa el estado ambiental general del sitio y recomiende algunos trabajos de mantenimiento.

Debido a la inquietud de la cercana población de Patquía, personal de Minería de la Rioja y de la CNEA organizaron una reunión de difusión con la comunidad en donde se distribuyó material informativo acerca de la calidad del agua que consume y el estado general del sitio. Durante el último trimestre de 2004, y con la conformidad de la Dirección de Minería de La Rioja, quedó concluida la totalidad de los trabajos recomendados en la visita realizada.

Potencialmente, las fuentes de contaminación son los desechos de la mina y los residuos sólidos de planta resultantes de la lixiviación de pilas. Los riesgos físicos están limitados a las zonas con labores de explotación a cielo abierto, donde las áreas de potenciales derrumbes y las paredes subverticales de la cantera ponen en riesgo a personas y animales que puedan ingresar al sitio.

Existe un impacto visual muy importante dado por las escombreras que se observan a varios kilómetros de distancia desde la ruta 74. Por otra parte, el área de pilas y dique de estériles impactan sobre el paisaje de manera notoria.

La explotación del yacimiento y la producción de concentrado de uranio la realizó un operador privado, razón por la cual la CNEA no dispone de datos que caractericen las colas ni de monitoreos ambientales realizados por la empresa en el área. Ahora bien, la ARN realiza periódicamente monitoreos de control en el área, donde se analizan muestras de aguas superficiales, agua potable, agua de napa y sedimentos.

Los objetivos del PRAMU para este sitio son su evaluación ambiental y, con base en los resultados obtenidos, estudiar distintas opciones tecnológicas para la mitigación de los impactos producidos y los potenciales futuros.

1.3 Sitio Malargüe (Mendoza)

El predio que ocupa el excomplejo, y que fue objeto de remediación total con el PRAMU, es propiedad de la CNEA y fue donado por la Provincia de Mendoza. En el lugar se encontraban depositadas 700.000 tn de colas de tratamiento de uranio que debían ser reubicadas dentro del mismo predio.

1.3.1 Los trabajos del PRAMU en el Sitio Malargüe

En 1954, comenzó a operar en Malargüe una pequeña planta con capacidad de 10 tn de mineral por día, con mineral cupro-uranífero oxidado, proveniente del yacimiento Huemul, ubicado 40 km al sur de esa localidad. Esta instalación fue la primera que se construyó en Latinoamérica para la recuperación de uranio.

En 1961 y 1962, se realizaron ensayos a escala piloto y de banco con mineral de los sectores reducidos de los yacimientos de Huemul y Agua Botada. Luego, durante 1963 y 1964, se construyó la planta de tratamiento.

En 1979, se realizó una ampliación y readecuación de la planta, lo cual incrementó su capacidad de tratamiento a 250 tn de mineral por día, para el proveniente de Sierra Pintada, situada a 190 km de Malargüe. Esta instalación funcionó hasta fines de 1986, ya que la operación no era rentable por los costos de transporte del mineral hasta Malargüe.

En la vida útil de la instalación, existieron tres etapas bien diferenciadas, definidas por su capacidad de producción: la primera etapa correspondió al período 1954-1964, con una capacidad de tratamiento de mineral de 10 tn/día; la segunda se produjo durante el período 1965-1977, con una capacidad de 100 tn/día; y la tercera se extendió entre 1978 y 1986, con una capacidad de tratamiento de 250 tn/día.

El proceso convencional se iniciaba con una etapa de reducción de tamaño, compuesta por una trituración primaria (50 mm), trituración secundaria (12 mm) y una molienda con molino de barra. En la etapa siguiente se efectuaba la lixiviación con ácido sulfúrico y bióxido de manganeso, como oxidante. La operación continuaba con la separación sólido-líquido en un circuito combinado de espesadores en contra corriente. Luego, mediante la utilización de resinas de intercambio iónico, se producía la recuperación de uranio, a partir de la solución acuosa. En algunos períodos, se utilizaba el sistema de extracción por solventes.

En la planta se procesaron dos tipos de minerales. El primero de ellos provenía del yacimiento Huemul-Agua Botada, ubicado a 50 km hacia el sur de la ciudad de Malargüe. Este mineral era del tipo cupro-uranífero, localizado en depósitos sedimentarios continentales. El segundo mineral fue transportado desde el yacimiento Dr. Baulés-Los Reyunos, cuya localización está en el departamento vecino de San Rafael, a 180 km hacia el noreste del actual emplazamiento de los residuos. La mineralización corresponde al tipo uranio en areniscas.

La etapa de extracción del uranio en el Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR) generó canteras agotadas, rocas estériles y otras con muy bajo contenido de uranio. Además, en los huecos de las canteras, se acumuló agua de lluvia y subterránea que, al estar en contacto con zonas mineralizadas

naturalmente, cambia su composición y origina la denominada «agua de cantera».

Por otra parte, para extraer el uranio de las rocas durante el procesamiento del mineral, se produjeron colas de mineral, precipitados (efluentes de la planta neutralizados) y residuos sólidos contenidos en tambores. El PRAMU abarcó el tratamiento prioritario de los pasivos agua de cantera y residuos sólidos. Esto permite disminuir la concentración de uranio, radio y arsénico en el agua de cantera y extraer el uranio remanente de los residuos sólidos.

Los trabajos del PRAMU en el sitio Malargüe comenzaron en 2012, cuando la CNEA entregó a la firma Stornini² el terreno para iniciar la obra de remediación (Molinari, 2017). Consistieron en la gestión con desplazamiento en el predio actual y la construcción de un encapsulado para aislar totalmente las colas del medioambiente con barreras ingenieriles adecuadas. Asimismo, se incorporó un sistema de drenaje semiperimetral con el objeto de deprimir el nivel del agua freática bajo la zona del nuevo emplazamiento.

Las inversiones requeridas para el proyecto fueron de 34,5 millones de dólares estadounidenses. 30 millones fueron proporcionados por el Banco Mundial, en el marco del Convenio de Préstamo BIRF N.º 7583-AR, y 4,5 millones por la CNEA (Molinari *et al.*, 2018).

Para la limpieza de las áreas impactadas por la actividad industrial, se realizó la remoción del material del piso y su incorporación al encapsulado, y el relleno de las zonas limpiadas con suelos naturales de la zona.

² Para más información, ingresar a <https://stornini.com/project/gestion-de-colas-de-mineral-y-rehabilitacion-del-area-del-sitio-malargue/>

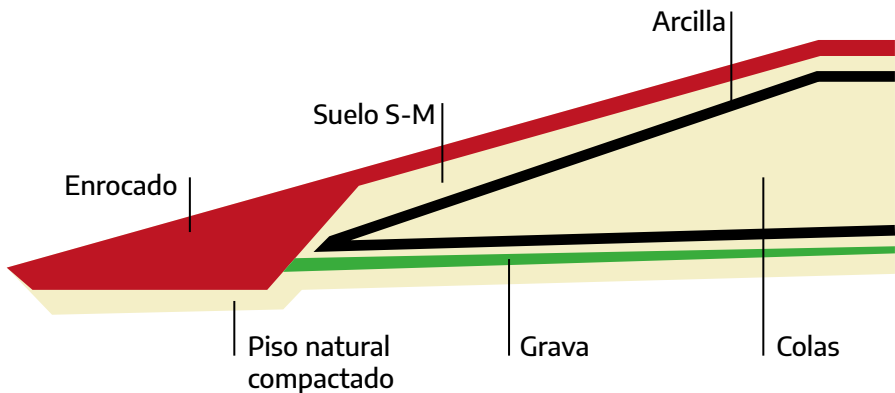
Las obras de gestión de las colas de uranio se realizaron según lo establecido en la Norma Básica de Seguridad Radiológica AR 10.1.1, la Norma Mandatoria RQ-86 de la ARN y las leyes de aplicación en la Provincia de Mendoza (como es el caso de los residuos peligrosos, flora y fauna, etc.). Esto significó mantener un control del flujo de radón con el sistema multicapa y realizar la descontaminación de las áreas con material dispersado.

A su vez, se implementó un programa de monitoreo ambiental que contempló la medición, análisis y seguimiento de las variables ambientales en aire, agua, suelo y parámetros radiológicos a escala local y regional (hasta 60 km) del Sitio Malargüe.

La remediación se realizó con materiales naturales como arcilla, arena, grava y roca, mediante los cuales se logró encapsular las colas de mineral de uranio. En la Figura 1 puede observarse un esquema de este trabajo.

En total, 710.000 tn de restos de suelos con minerales de uranio —de muy baja radioactividad— resultaron encapsulados en un área de 12 ha, que está situada en un predio de 42 ha donde se construyó un parque temático. El procedimiento realizado evita la dispersión del material al suelo, aire y agua, de manera que minimiza el contacto con el ambiente y la comunidad.

Figura 1. Esquema de encapsulamiento de colas de mineral de uranio



Fuente: folleto de la CNEA

Además de las tareas relacionadas con el encapsulado, se realizaron diversas funciones de monitoreo ambiental: se tomaron muestras de suelos y agua, se llevaron adelante controles radiológicos (gamma y radón) y se midió el material particulado en el aire. También se monitorearon los terrenos vecinos y se realizaron mediciones en el agua hasta 40 km de distancia. Los resultados encontrados se hallaban dentro de los valores permitidos por la normativa vigente.

Los trabajos más importantes fueron los siguientes:

- Dique de disposición final, el cual consta de un sistema de múltiples barreras para la disposición segura y definitiva de los efluentes resultantes del proceso de remediación.

- Instalación de 2,6 km de cañerías de polietileno de alta densidad para conducir el agua entre las canteras y desde estas hacia la planta de tratamiento.
- Planta de tratamiento con un dispositivo de apertura de tambores de residuos sólidos que permite abrirlos de forma segura.
- Diques de decantación de radio y arsénico utilizados para el proceso de tratamiento del radio y el arsénico del agua de cantera. Estos diques y la planta de tratamiento están ubicados contiguos al Dique de Disposición Final.
- Las construcciones compuestas por mampostería y hormigón fueron demolidas, y los equipos de planta y construcciones metálicas desmantelados.
- Para el agua subterránea que se hallaba próxima a la superficie del terreno, se construyó un drenaje subterráneo que deprime los niveles freáticos a fin de mantener a largo plazo los residuos alejados del agua freática, además de permitir la realización de tareas de remediación en los sectores inundables en período de mayor recarga.
- Construcción de una celda de contención de las colas de mineral, a fin de aislarlas y evitar que los contaminantes accedan al medio ambiente a través de las vías de transferencia.
- El primer metro del piso de la nueva área de emplazamiento es un estrato areno-limoso, de baja densidad aparente con alta humedad y con posibilidad de ser saturado por ascensión del nivel freático.

A continuación, se encuentra un estrato aluvional constituido por grava, con un espesor variable del orden de 20 m. El piso fue escarificado en una profundidad de 0,7 m y luego compactado en una sola capa hasta obtener una densidad aparente de 17 kN/m^3 .

- Sobre la capa de arcilla compactada, se colocaron los residuos de proceso, los suelos contaminados y los materiales de demolición. Las colas de proceso fueron extraídas de las pilas en forma lateral, transportadas al nuevo emplazamiento y depositadas en capas, neutralizadas con cal y compactadas. El volumen total de materiales fue de 475.000 m^3 .
- Los sectores que han sido impactados como consecuencia de la actividad industrial fueron excavados para retirar la capa de suelo contaminado. Los suelos residuales producto de la excavación fueron gestionados en conjunto con las colas de mineral. Luego, los terrenos fueron rellenados con suelos no contaminados.
- Restauración del acuífero: el agua subterránea ha sido impactada debido al ingreso de agua de lavado de las colas en la freática, es decir que se produjo una variación en su composición química, principalmente en el área bajo las colas, lo cual disminuyó progresivamente en sentido del escurrimiento del agua subterránea.
- La gestión de las colas de mineral redujo la emanación de radón a valores permitidos, de manera que disminuyeron los riesgos radiológicos al público, lo cual evitó el ingreso de precipitaciones a las colas y actuó como capa de protección.

Finalmente, el 18 de septiembre de 2017, la CNEA y la Municipalidad de Malargüe inauguraron el Parque El Mirador, que constituyó la primera obra de remediación ambiental de la minería del uranio en la Argentina y Latinoamérica. En la Figura 2 puede observarse una imagen del parque ya finalizado.

El parque constituye un espacio público de esparcimiento de 7 ha y fue cedido a la Municipalidad de Malargüe. La población puede disfrutar, a partir de este trabajo, de un área destinada a actividades deportivas con una bisisenda, un sendero aeróbico y otro peatonal para personas con discapacidad visual y de un playón deportivo de usos múltiples con cancha de fútbol y básquet. También cuenta con sectores de pérgolas con áreas sociales, juegos infantiles, un anfiteatro y sanitarios.

Un aspecto importante del proyecto fue la participación de la comunidad en su ejecución. En efecto, en 2105, la CNEA realizó un estudio de opinión con el fin de conocer la información, percepción y opinión de los diferentes actores sociales involucrados. El estudio incluyó un mapeo de sectores sociales, dos encuestas a la población de los sitios y 27 entrevistas en profundidad a actores sociales (ONG, Gobierno, periodistas, entidades educativas, etc.) (Molinari, 2017).

Sobre los trabajos en este sitio y los futuros planes de remediación, Kempf asegura:

La remediación del Sitio Malargüe fue el único proyecto que se finalizó con el concepto de clausura, es decir, ahora hay un parque público a unos km de la ciudad de Malargüe que la población puede utilizar. Aquí se procesaba el mineral tanto de San Rafael como de otras minas de la provincia. Como tarea pendiente quedó la remediación de los otros siete sitios. Pero hay

uno de ellos, Sierra Pintada, en San Rafael, donde queremos realizar una remediación con el objetivo de mantener la producción de uranio y no una remediación para clausura, si bien hay que realizar trabajos en una pileta de lixiviado. En Sierra Pintada estaba el yacimiento y en San Rafael estaba el complejo minero fabril. Allí existe aún un entramado industrial para la producción de concentrado de uranio que ahora se está importando. En estos momentos, la situación de crisis energética nos lleva a pensar en la posibilidad de volver a tener autonomía total en el ciclo del combustible nuclear. Por debajo del paralelo 40, existen importantes yacimientos, pero no tenemos ningún complejo fabril ya instalado, solo tenemos el de San Rafael. Y hay una tradición minera que se ha ido perdiendo. Los últimos que trabajaron en ese complejo están por jubilarse. En CNEA hay gente que ha nacido en un campamento minero, donde la familia completa, muchas veces, estaba empleada en la mina y en el complejo fabril. Vamos a mejorar el proceso para seguir produciendo. Para esto, tenemos que dar el debate en Mendoza, donde existen sectores que impulsan la minería y grupos ambientalistas que la rechazan. Para nosotros, es muy importante poder colocar la responsabilidad del Estado nacional en remediar el complejo minero para poder llevar a cabo la tarea en forma sustentable y consciente. Si podemos resolver esto y producir el concentrado de uranio, podremos encarar nuevamente el primer peldaño del ciclo del combustible nuclear. El resto de los sitios son tareas que tenemos que tomar desde el PNGRR. El mayor inconveniente es el financiamiento (R. Kempf, comunicación personal, 10 de agosto de 2022).

Con la culminación de esta remediación, la Argentina se suma al grupo de referentes en restitución ambiental, junto a los Estados Unidos, Alemania, Canadá, Francia y Australia, y se destaca como el primer país latinoamericano en culminar este tipo de obras de infraestructura pública (Molinari *et al.*, 2018).

Figura 2. Parque El Mirador (Malargüe, Mendoza)



Fuente: folleto de la CNEA

2

Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR)

2.1 Gestión de los EECC gastados

Cuando los EECC se retiran del reactor, aún poseen restos de radiación. Esta situación obliga a aislarlos en las piletas de decaimiento, a las que llegan por un canal de transferencia. En esas piletas, el agua que hay por encima sirve de blindaje biológico y además elimina el calor que se desprende de todo material con alta actividad. Luego de algunos años en las piletas, los EECC se pueden considerar como residuo radiactivo y se procede a su disposición final o se los considera como un producto del que se puede recuperar el uranio y el plutonio que contienen, para su aprovechamiento energético posterior. Las tres centrales argentinas cuentan con piletas de decaimiento. Además, en la Central Nuclear Embalse (CNE) existen silos de hormigón donde se depositan los EECC una vez que se retiran de las piletas.

La gestión de las piletas corresponde a NA-SA hasta que el país, por intermedio de la CNEA, tome la decisión de reprocesar los EECC o proceder a su disposición final como residuo radiactivo. La decisión de no reprocesar cambiaría el estatus jurídico de los EECC y estos pasarían a la órbita de la CNEA, quien establecería la disposición final según la normativa vigente.

Vale aclarar que el reprocesamiento requiere de una tecnología que no está disponible al día de hoy en la Argentina³.

Durante el proceso de reprocesamiento, tras separar el uranio y el plutonio no quemados, quedan como residuos los productos de fisión. El uranio y el plutonio separados se reciclan en las fábricas de combustible como material fisionable, y se cierra así el ciclo del combustible nuclear. Los residuos — luego de unos años de enfriamiento— son solidificados y encapsulados en cilindros de acero inoxidable, y constituyen así los únicos residuos de alta radiactividad que se derivan del ciclo del combustible nuclear⁴. Sobre la gestión de los residuos nucleares, Kempf aclara que

Argentina considera a los EECC gastados como un activo energético. Es decir, mantenemos latente la tecnología para recuperar uranio y otros actínidos de interés energético. En la Convención Conjunta apareció como un tema muy importante el recuperado de radio para nuevos radioisótopos, tema que hasta ahora no estaba presente. Ahora hay toda una actividad internacional para recuperar radio de fuentes en desuso para aplicaciones médicas. Además de radio, se puede recuperar estroncio. Eso es un pedido internacional. CNEA no está recuperando radio en este momento. Lo que sí estamos recuperando es uranio de los filtros de proceso de producción de radioisótopos en Ezeiza. Estamos lejos, por falta de presupuesto y falta de un entramado industrial, de realizar la recuperación del plutonio de los EECC gastados. El proceso químico lo mantenemos latente y en proceso, ya que es el mismo, pero la escala industrial no es un detalle. Algo importante con el tema de los residuos radiactivos, a diferencia de otras fuentes de

3 Algunos aspectos históricos de los intentos de reprocesamiento en la Argentina pueden consultarse en Quilici y Spivak L'Hoste (2018).

4 Para más información, ingresar a <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear/que-es-el-reproceso-y-donde-se-realiza>

generación de la matriz energética, es que sabemos dónde están, cuántos son y están inmovilizados. En otras fuentes de energía, los residuos se emanan a la atmosfera. El personal involucrado en esta tarea está calificado, lo que implica una licencia personal y una licencia específica acorde a la instalación concreta en la que trabaja (R. Kempf, comunicación personal, 10 de agosto de 2022).

En la actualidad, la CNEA está construyendo almacenamientos en seco para la Central Nuclear Atucha I (CNA I) y la Central Nuclear Atucha II (CNA II) (Zappino, 2022c). A mediados de los años noventa, existió un proyecto para la creación de un repositorio en Gastre, Chubut, pero fue retirado por la masiva movilización popular que se oponía a que se construyera⁵.

Para la gestión de los residuos radiactivos, la CNEA puso en marcha el PNGRR, cuyo objetivo es la gestión segura de los residuos radiactivos y los combustibles gastados provenientes de todas las actividades nucleares que se realizan en el país.

2.2 EL PNGRR

Los residuos radiactivos son aquellos que contienen elementos inestables y emiten energía en forma de partículas o de radiaciones electromagnéticas. A medida que la energía es liberada, la radiactividad va disminuyendo. Con el tiempo, los residuos radiactivos decaen, es decir, se vuelven menos radiactivos. Algunos dejan de ser radiactivos en horas o días, pero en otros casos esos períodos pueden prolongarse por muchos años.

⁵ Más información sobre este proyecto disponible en <https://agenciatierraviva.com.ar/historia-de-un-triunfo-a-25-anos-de-la-gran-marcha-a-gastre>

En la Argentina existen una serie de leyes, nacionales y provinciales, que regulan las actividades nucleares en general y la gestión de residuos radiactivos en particular. Además, la ARN es la entidad responsable de fijar un marco normativo que garantice la seguridad de las instalaciones y tareas en todo el territorio nacional. Entre las leyes nacionales más importantes, se encuentran:

- Constitución Nacional (reforma de 1994) que, a través del artículo 41, prohíbe el ingreso de residuos radiactivos al país.
- La Ley 24.804 de la Actividad Nuclear (23 de abril de 1997), que asigna a la ARN la responsabilidad de regular y controlar todas las actividades relativas a la seguridad radiológica y nuclear. Además, designa a la CNEA como responsable de la gestión de los residuos radiactivos y de los combustibles nucleares gastados, además del desmantelamiento de las instalaciones nucleares.
- La Ley 25.018 de Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos (23 de octubre de 1998), que crea el PNGRR y establece sus potestades y responsabilidades. Además, crea el Fondo para la Gestión y Disposición Final de los Residuos Radiactivos e instruye a la CNEA para que elabore un Plan Estratégico de Gestión de Residuos Radiactivos e informe anualmente al Congreso Nacional sobre su desarrollo.
- Por otra parte, la Argentina ha suscripto, a través de la Ley 25.279 de Convenciones (4 de agosto de 2000), a la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de los Desechos Radiactivos, que establece criterios para la gestión segura y que compromete al país a implementar

procesos de mejora continua, a informar periódicamente al resto de los estados miembro sobre sus estrategias de gestión y a someterse a la revisión de los demás países.

- La Ley 25.566 de Actividad Nuclear (25 de noviembre de 2009), que declara de interés nacional las actividades para construir una cuarta central nuclear, las tareas que permitan concretar la extensión de vida de la CNE y de la CNA I y las obras de finalización de la CNA II⁶.
- Legislaciones provinciales y municipales.
- Normas regulatorias de la ARN.

El tratamiento de los residuos radiactivos sigue las mismas reglas que los residuos de cualquier otra clase: se los caracteriza, clasifica y separa; se reduce su volumen; se reutiliza y se recicla todo lo que se puede. Además, durante todo el proceso, se aplican los principios de protección radiológica para minimizar las dosis de exposición a las radiaciones en cada una de las prácticas.

El objetivo de la gestión de estos residuos es el confinamiento y aislamiento por un período determinado y en condiciones tales que no implique un riesgo radiológico inaceptable para las personas ni para el ambiente, tanto para las generaciones presentes como para las futuras.

Para ello, el PNGRR cuenta con las instalaciones adecuadas para emprender actividades de investigación y desarrollo que permitan introducir tecnologías innovadoras para una gestión cada vez más eficiente.

⁶ Al momento de elaborar este trabajo, la extensión de vida de la CNE y la finalización de la CNA II ha sido completada.

Algunas actividades nucleares de la Argentina generan residuos de tipo radiactivo, a saber: la operación de las centrales nucleoelectricas, la fabricación de EECC para los reactores de investigación y de potencia y las aplicaciones nucleares para medicina y la industria. En la Figura 3, puede observarse un esquema de las actividades nucleares en el país en 2012.

Figura 3. Actividades nucleares en la Argentina



Fuente: Maset (2012)

La distribución de los residuos radiactivos según tipo de actividad muestra que el 80 % de estos corresponden a la operación de centrales nucleares,

el 11 % a la fabricación de los EECC para los reactores de potencia y el 9 % a aplicaciones en medicina, industria y reactores de investigación.

Una vez que los residuos fueron generados, resulta de vital importancia su caracterización para definir qué elementos contienen, qué tipo de radiación emiten y cuánto tiempo de aislamiento es necesario para que no constituyan un riesgo para las personas ni para el ambiente.

La clasificación de los residuos se realiza según las siguientes definiciones (Maset, 2012):

- NIVEL MUY BAJO: con un sistema de disposición superficial con mejoras de ingeniería y control institucional durante 50 años.
- NIVEL BAJO Y MEDIO: con un sistema de disposición en forma de repositorio de hormigón cercano a la superficie, con barreras múltiples y control institucional durante 300 años.
- NIVEL ALTO: con un sistema de disposición en forma de repositorio geológico profundo (aproximadamente 500 m).

Mediante la caracterización, se miden las propiedades físicas (como el volumen y el peso), la composición química y las propiedades radiológicas (la actividad de los elementos) de los residuos. Una vez determinadas sus características, es posible establecer el proceso de gestión y el sistema de disposición adecuado.

La gestión se orienta a la reducción de los volúmenes (por ejemplo, por medio de la compactación) y a la inmovilización de los residuos. Para ello, se los puede incluir dentro de diversas sustancias, como polímeros,

asfalto (proceso denominado «bituminización»), vidrio o cemento. Para su almacenamiento, los residuos son colocados en contenedores metálicos especiales.

Dentro del Centro Atómico Ezeiza (CAE), la CNEA cuenta con un predio destinado al tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento interino de los residuos producidos por los reactores de investigación y las fuentes selladas de cobalto 60 para uso medicinal e industrial que ya se encuentran en desuso. Por su parte, los residuos y los EECC gastados de los reactores de potencia son almacenados en instalaciones ubicadas dentro de las centrales nucleares. En efecto, en la CNA I y la CNA II, los EECC gastados, una vez retirados de los reactores, se introducen en las piletas de enfriamiento especialmente diseñadas para lograr la disipación del calor. Luego de un tiempo, pasan a un sistema de almacenamiento en seco. En la CNE, los EECC se depositan en las piletas de enfriamiento y, luego de un período de seis años, se los traslada a un almacenamiento en seco en silos de hormigón. En este sentido, Kempf amplía:

El combustible, una vez utilizado, se almacena «en húmedo», es decir, en las piletas. En Ezeiza, tenemos la FACIRI [Facilidad de Almacenamiento de Combustibles Irradiados de Reactores de Investigación] para los EECC del RA-3. En Argentina el concepto es que esos combustibles no van a un repositorio geológico profundo porque, como dije, se considera un activo energético a la espera de generar las condiciones para reprocesar y recuperar plutonio y otros actínidos. En Ezeiza también tenemos el AGE que es el área de gestión que el Estado nacional dispone para la disposición de residuos de baja actividad, fundamentalmente los compactables, es decir, papel, guardapolvos, guantes de látex, etc. Y también para el tratamiento y adecuación de lo que son las resinas de intercambio iónico del proceso de producción de radioisótopos y de los residuos radiactivos líquidos (en la jerga

del sector, «licores») del proceso de fisión. El combustible de los reactores de producción de radioisótopos es de aluminio y tiene una «digestión». El uranio está embebido en ese combustible. Con esos residuos, hacemos un tratamiento para evitar la dispersión del mismo.

Otra gran instalación del CAE es el lugar donde se depositan las fuentes selladas en desuso, que pueden provenir de las fuentes de cobalto 60 (^{60}Co) que se usan en el país y de las que vuelven del exterior. También está el blindaje del uranio despletado o empobrecido de las fuentes de cobaltoterapia. Es un mineral muy denso y se utiliza como blindaje frente a la radiación gamma. Allí tenemos todas las fuentes, tanto las industriales como las medicinales (R. Kempf, comunicación personal, 10 de agosto de 2022).

En la Figura 4, pueden observarse imágenes de las piletas en la CNA I, la CNA II y la pileta y los silos de la CNE.

Figura 4. Piletas y silos en las centrales nucleares argentinas



Fuente: Maset (2012)

La CNEA está estudiando nuevas tecnologías relativas a procesos térmicos para reducir los volúmenes del material que debe ser almacenado y luego dispuesto. Entre ellas, se encuentran la pirólisis de resinas de intercambio iónico y el tratamiento con plasma inductivo de baja energía para los gases generados a lo largo del proceso. A continuación, trataremos en detalle las características de las principales instalaciones de gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos de la CNEA.

2.2.1 Centro Atómico Ezeiza (CAE)

2.2.1.1 Área Gestión de Residuos Radiactivos (AGE)

Se trata de un predio destinado al almacenamiento transitorio, tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento interino de EECC. Presenta una serie de instalaciones, adecuadas para cumplir con los objetivos señalados:

- Depósito de Almacenamiento Interino de Fuentes y Residuos Radiactivos
- Taller y Galpón de Automotores
- Planta Piloto de Cementado y Compactado
- Depósito Central de Material Fisionable Especial Irradiado
- Playa de Maniobra y Estiba de Bultos
- Sistema de Almacenamiento de Residuos Radiactivos Sólidos en Contenedores Transoceánicos

- Planta de Tratamiento y Acondicionamiento de Residuos Radiactivos
- Instalación Gamma Escáner
- Oficina de Protección Radiológica
- Guardia de Ingreso

Junto al AGE se encuentra el Depósito de Almacenamiento Prolongado (DAP), que administrativamente depende del AGE, destinado a la estiba de contenedores de ultramar que se apoyan sobre pilotes y contienen residuos radiactivos sólidos acondicionados en tambores de 200 dm³. Este predio está destinado al almacenamiento de residuos radiactivos históricos⁷. La procedencia de los residuos radiactivos corresponde a plantas de producción del CAE, laboratorios del CAC y a otras instalaciones menores de investigación y desarrollo. En cuanto a las fuentes en desuso, la procedencia corresponde principalmente a centros médicos e instalaciones industriales de distintas provincias del país. En la Figura 5 pueden observarse imágenes del AGE en el CAE.

⁷ Cabe aclarar que, durante la pandemia de COVID-19, la CNEA continuó con la gestión de los residuos radiactivos y las fuentes selladas en desuso.

Figura 5. AGE-CAE



Fuente: Maset (2012)

Además del AGE y el DAP, existen otras instalaciones en el CAE utilizadas para la gestión de los residuos radiactivos.

- La Planta Piloto de Cementado y Compactado (PPCC).
- El Depósito de Almacenamiento Interino para Fuentes y Residuos Radiactivos (DAIFRR).

- La Playa de Maniobras y Estiba de Bultos (PMEB), en la que se estiban bultos que contienen material radiactivo como sólidos estructurales, resinas agotadas del reactor RA-3 y líquidos de media y baja actividad, para su posterior tratamiento en la PPCC y en la Planta de Tratamiento y Acondicionamiento de Residuos Radiactivos (PTARR).
- Los Sistemas de Disposición de Residuos Radiactivos (actualmente se encuentran en desuso).
- La Instalación de Gamma Scanner (IGS), donde se realizan mediciones de tambores que contienen residuos radiactivos con el objetivo de capacitar al personal sobre el funcionamiento del *software* y del equipo.
- El Depósito Central de Material Fisionable Especial Irradiado (DCMFEI).
- El Depósito de Combustibles Gastados del reactor RA-1.
- El Laboratorio de Caracterización (LABCAR).
- La Planta de Tratamiento y Acondicionamiento de Residuos Radiactivos (PTARR).
- El Laboratorio de Procesamiento de Muestras Ambientales (LPMA).
- La Facilidad de Almacenamiento de Combustibles Irrradiados de Reactores de Investigación (FACIRI), donde se reciben y almacenan EECC gastados tipo *material testing reactor* (MTR).

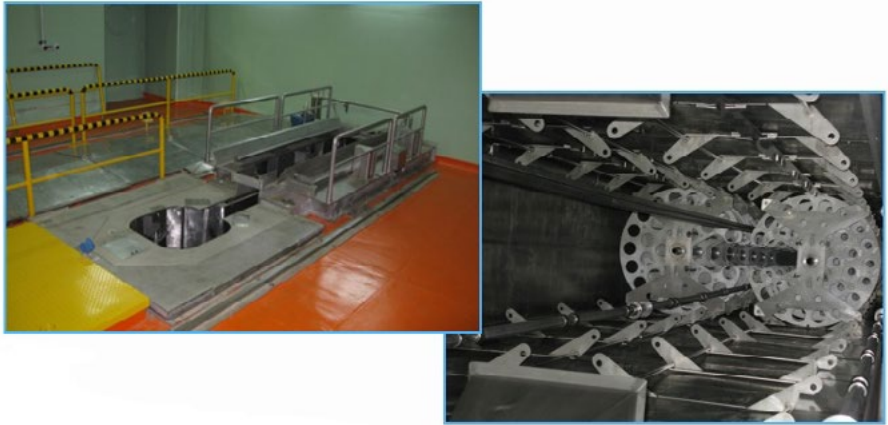
En las Figuras 6, 7 y 8 pueden observarse imágenes del almacenamiento de los EECC del reactor RA-3, del almacenamiento de EECC de los reactores de investigación y el almacenamiento de residuos nucleares y fuentes selladas en desuso, respectivamente.

Figura 6. Almacenamiento de los EECC del reactor RA-3



Fuente: Maset (2012)

Figura 7. Almacenamiento de EECC de los reactores de investigación



Fuente: Maset (2012)

Figura 8. Almacenamiento de residuos nucleares y fuentes selladas en desuso



Fuente: Maset (2012)

2.2.2 Centro Atómico Constituyentes (CAC)

En el CAC se encuentra el Laboratorio Química de Materiales Nucleares (LQMN) en donde, mediante el empleo de trazadores radiactivos, se desarrollan nuevos procesos para el tratamiento y acondicionamiento de las distintas corrientes de residuos radiactivos de nivel bajo y medio.

2.2.3 Centrales nucleares

Cada año, personal del PNGRR realiza visitas a las centrales nucleares a fin de inspeccionar la gestión de los residuos radiactivos generados y almacenados en las instalaciones de estas.

2.2.3.1 CNA I y II

El volumen y la actividad de los residuos generados en estas centrales se mantiene acorde a la producción de nucleoelectricidad. Además, se llevan a cabo tareas de tratamiento y acondicionamiento de residuos sólidos compactables de nivel bajo, con el foco en la descontaminación de material para su desclasificación o para bajar su nivel de actividad. Además, se puso en marcha el depósito DAT III con un sistema de automatizado de las estibas, lo que favorece la optimización del espacio de almacenamiento.

Por otro lado, se encuentra avanzada la construcción del Almacenamiento en Seco de Elementos Combustibles Quemados (ASECQ), la cual solo tiene capacidad de almacenamiento para la CNA I y no contempla su etapa de extensión de vida. Por esta razón, CNEA prevé la compra de terrenos aledaños para futuras construcciones de tipo modulares.

2.2.3.2 CNE

Se realizan en forma habitual las tareas asociadas a la gestión de los residuos radiactivos generados en la central. Entre ellas, se encuentran la clasificación de los residuos, la descontaminación, el trozado y prensado de materiales, y la colocación de estos en envases aptos para que —previa caracterización parcial por espectrometría gamma— finalmente puedan ser almacenados en los depósitos dispuestos dentro del predio de la propia central.

2.2.4 Cantidad de residuos radiactivos y combustibles gastados generados

Como ejemplo de las cantidades de residuos radiactivos y EECC gastados procesados, en la Tabla 2 se expone un resumen presentado por la CNEA en la Convención Conjunta sobre seguridad del combustible gastado y seguridad en la gestión de desechos radiactivos realizada en la sede de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) en 2020.

Tabla 2. Residuos radiactivos al 31/12/2019 según central

Lugar	Instalación	Procesados	Est.	Volumen (m³)	RO %	FF/FE %	RP %
CNA I	Almacenamiento	No	Sí	171,41	100	0	0
CNA I	Almacenamiento	Sí	Sí	688,60	100	0	0
CNA II	Almacenamiento	No	Sí	9,80	100	0	0
CNA II	Almacenamiento	Sí	Sí	33,80	100	0	0
CNE	Almacenamiento	No	Sí	414,83	100	0	0
CNE	Almacenamiento	Sí	Sí	2.917,56	100	0	0
AGE-CAE	Almacenamiento	No	Sí	298,45	11	71	0
AGE-CAE	Almacenamiento	Sí	Sí	820,1	51	67	0
AGE-CAE	Disposición	Sí	Sí	2.566,9	68	47	13

Fuente: elaboración propia con base en CNEA (2020)

Est.: distribución estimada; procesados: residuo procesado; RO: operación del reactor; FF/FE: fabricación/enriquecimiento de combustible; RP: reprocesamiento

Tabla 3. Residuos radiactivos al 31/12/2019 según planta

Lugar	Residuos	Vol. (m ³)
Complejo Tecnológico Pilcaniyeu	Residuos de proceso	29,48
Complejo Tecnológico Pilcaniyeu	Residuos misceláneos	5,21
Planta de producción de UO ₂	Residuos de operación	120

Fuente: elaboración propia con base en CNEA (2020)

Tabla 4. Inventario del combustible gastado al 1/11/2019* según central

Central	Cantidad	U total (kg)	Pu** (kg)
CNA I - Piletas I y II	10.689	1.632.071	6.287.388
CNA II - Piletas	2917	493.122	1.784.605
CNE - Pileta	17.397	325.636	1059
CNE - Silos	128.520	2.398.710	8776

Fuente: elaboración propia con base en CNEA (2020)

* Fecha de consolidación de inventario (OIEA)

** Valores estimados mediante programa de cálculos sobre la base del grado de quemado tiempo de residencia y posición en el núcleo

Tabla 5. Inventario del combustible gastado al 8/10/2019*. Área de Gestión de Residuos Radiactivos (AGE)-CAE

Tipo	Cantidad	Kg
Pines	232	14
Filtros	120	18

Fuente: CNEA (2020)

Fecha de consolidación de inventario (OIEA)

Pines: combustible tipo aguja del reactor de investigación RA-1; filtros: provenientes de la planta de producción de ⁹⁹Mo por fisión

Tabla 6. Inventario del combustible gastado al 31/10/2019*. Facilidad de Almacenamiento de Combustibles Irradiados de Reactores de Investigación (FACIRI)

Tipo	Cantidad	Kg
MTR**	245	291

Fuente: CNEA (2020)

* Fecha de consolidación de inventario (OIEA)

** Todos los ítems de la instalación son considerados

Por su parte, sobre la gestión de los residuos nucleares, Kempf aclara otros conceptos:

Para la disposición final, el PNGRR tiene un subprograma que se llama CONFIN.AR, que es un *racconto* del proceso de búsqueda de un repositorio geológico profundo en la década de 1980 en Chubut. Y también del

proceso social, que no fue exitoso⁸, porque, de todas formas, si hacemos un procesamiento, hay residuos de alta radiactividad en ese proceso que también tendrán que ser dispuestos. El acuerdo internacional, liderado por los países nórdicos, es llevarlos a un repositorio geológico profundo, que es una tecnología que requiere primero una licencia social y luego un área geológica estable. En las piletas hay combustibles hace decenas de años. En el Complejo Atucha hay dos almacenamientos en seco, el ASECQ1 que ya está funcionando y el ASECQ2 que está en construcción. Y en la CNE tenemos los silos. Para estos silos tenemos una tarea que es realizar una gestión de vida de los mismos, porque puede haber procesos corrosivos en los canastos que contienen los EECC. A la tecnología la llamamos «gestión de vida» y se utiliza para monitorearlos y realizar las tareas necesarias para la degradación que pueda existir por la corrosión. Esto ya se está realizando y tenemos que reforzarlo para llegar a los 340 silos existentes. El seguimiento lo hacemos en conjunto con el Departamento de Corrosión de CNEA.

Lo principal para recuperar, desde el punto de vista energético, es plutonio, que solamente se genera dentro de la central nuclear. El resto es la gestión de los residuos o desechos radiactivos. En este sentido, la Convención tiene dos aspectos: el aspecto internacional es lo que nos permitió, en el año 2003, al exportar a Australia el reactor OPAL y sus EECC, que surgiera un debate sobre la manera de traer de vuelta esos combustibles gastados. Ese tema llegó a la Corte Suprema y ganó el argumento de que no es un residuo radiactivo, sino un activo energético (R. Kempf, comunicación personal, 10 de agosto de 2022).

El subprograma CONFIN.AR, citado en el testimonio, fue presentado el 1 de febrero de 2022 con el objetivo de «establecer definiciones, antecedentes,

8 Más información sobre este proyecto en <https://agenciatierraviva.com.ar/historia-de-un-triunfo-a-25-anos-de-la-gran-marcha-a-gastre>

responsabilidades y principales aspectos ligados a la disposición final de residuos radiactivos y combustibles gastados. Presentar y sentar los fundamentos del proyecto CONFIN.AR Geo, para el que se prevé comenzar su despliegue en el corto plazo» (CNEA, 2022, p. 1).

El proyecto CONFIN.AR Geo surge de la necesidad de dar una solución perentoria a la problemática de la disposición final de los residuos radiactivos de nivel alto y de los combustibles gastados, y se sustenta en dos obligaciones que recaen sobre la CNEA: la responsabilidad ética indelegable vinculada a la sostenibilidad del ciclo del combustible nuclear y al principio de no transferir nuestras obligaciones y decisiones a las generaciones futuras; y la responsabilidad jurídica de la CNEA establecida por la Ley 25.018.

En este sentido, existen dos proyectos previos implementados por la CNEA en distintos momentos:

- El proyecto «Repositorio de residuos radiactivos de alta actividad. Estudio de factibilidad y anteproyecto de Ingeniería», conocido como «Proyecto Gastre», iniciado en 1980 y discontinuado en 1992.
- El proyecto «Estudio de ambientes geológicos aptos para el emplazamiento de repositorios para la disposición final de residuos radiactivos de baja, media y alta actividad», creado en 1991 y discontinuado en 2004.

Estos antecedentes constituyen un aporte importante de conocimiento, información y lecciones aprendidas.

El proyecto se divide en seis fases:

Fases	Duración estimada
Iniciación	5 años (en curso desde 2020)
Selección de sitios	5-10 años
Caracterización de sitios	15-20 años
Construcción de la instalación	10-20 años
Operación	100-120 años
Clausura y posclausura	20-50 años

Fuente: CNEA (2022)

Cada una de estas fases, a su vez, estará dividida en etapas y subetapas que involucrarán gran cantidad de proyectos y subproyectos en diversos campos científicos y técnicos, y que, en varios casos, se desarrollarán de forma simultánea. Esto favorecerá la cooperación y los vínculos de trabajo con otros organismos y universidades nacionales e internacionales, y, a la vez, promoverá la construcción de una red multidisciplinaria de cooperación científica en el país.

A modo de conclusión

La Argentina es uno de los países más avanzados de América Latina y uno de los diez países con mayor desarrollo del mundo en lo que respecta al sector nuclear. Cuenta con tres plantas de producción de energía nucleoelectrónica, tres centros atómicos para investigación y desarrollo de tecnología nuclear y varias empresas públicas involucradas en el proceso productivo de la nucleoelectricidad. Entre ellas, se encuentran la planta productora de dióxido de uranio Dioxitek S.A., la fábrica de combustibles nucleares argentinos CONUAR S.A., la planta productora de agua pesada de la Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería (ENSI) y la empresa operadora de las centrales nucleares NA-SA.

El uranio es un activo clave de la matriz energética argentina y, por lo tanto, cumple un rol fundamental para la autonomía y la soberanía nacional. Por décadas, la CNEA procesó el mineral de uranio necesario para los combustibles de los reactores nucleares argentinos. Este proceso fue realizado en ocho sitios dentro del territorio nacional. Como resultado de estos trabajos, hasta fines de la década de 1990, en cada uno de los sitios se produjeron las denominadas «colas de mineral» y otros residuos contaminantes, una vez que el mineral fuera procesado. En efecto, como cualquier actividad minera de baja ley, es decir, en donde el elemento que se obtiene representa una pequeña proporción de la roca extraída, la minería del uranio genera grandes cantidades de residuos, roca estéril, restos de compuestos para la separación y purificación, etc.

En este aspecto, la preocupación por la conservación ambiental y las consecuencias del cambio climático han ido aumentando a través de los años y se han convertido en un aspecto clave de la discusión de las distintas naciones.

A pesar de que sería imposible describir a la minería como una actividad no contaminante, es verdad que pueden ponerse en marcha una serie de políticas que apunten a mitigar gran parte de sus efectos y permitir, de esta manera, evitar los grandes costos que acarrearían el deterioro de las áreas donde hubo producción y los efectos perjudiciales para la comunidad. En este sentido, el Estado nacional tiene un rol clave en la regulación de la actividad y en la política destinada a paliar las consecuencias de la propia acción estatal en esta actividad.

A partir de estas consideraciones, la CNEA se planteó la necesidad de efectuar trabajos de remediación en cada uno de aquellos sitios donde se ha extraído y procesado mineral de uranio, a fin de preservar las condiciones ambientales y la salud de la población. Para esto, impulsó el PRAMU.

La primera obra, que fuera también pionera en Latinoamérica, se realizó en Malargüe, Mendoza. En ese sitio, la CNEA procesó, entre 1954 y 1986, mineral de uranio proveniente de las minas Huemul y Sierra Pintada.

La obra de remediación se llevó a cabo mediante el proceso de ingeniería denominado «encapsulado», el cual contempló la disposición segura y definitiva de las colas de mineral para evitar su dispersión e interacción con el ambiente y las personas. Finalmente, el predio se integró a la ciudad con la construcción del parque «El Mirador», que se constituyó en un espacio de esparcimiento para toda la comunidad local. La CNEA tiene pendiente, aún, realizar los trabajos de remediación en los restantes siete sitios.

En lo que respecta a los residuos nucleares generados por la investigación y por la generación de energía nucleoelectrónica, la CNEA puso en marcha el PNGRR, mediante el cual el país lleva adelante la gestión de aquellos EECC ya utilizados. Para esto, debe optarse entre su disposición final o su

eventual reprocesamiento para recuperar el uranio y el plutonio que aún contienen, para su aprovechamiento energético posterior.

Por su naturaleza radiactiva, los residuos de la actividad nuclear deben ser aislados para evitar que las personas que trabajan en el sector y el público en general reciban dosis de radiación superiores a las permitidas. Aquellos residuos de baja o media actividad se aíslan por períodos cortos, dado que no constituyen un gran problema por su decaimiento relativamente rápido. Los que generan más radiación son los EECC gastados, los cuales deben aislarse por miles de años.

La Argentina genera alrededor de 200 m³ de residuos nucleares de media y baja actividad por año. Sin embargo, los volúmenes por unidad de energía generada resultan muy bajos respecto de aquellos que producen los combustibles fósiles, los cuales, en lugar de aislarse, son dispersados en la atmósfera, de manera que contaminan el aire y aumentan la concentración de gases de efecto invernadero.

El proceso de caracterización de los residuos es clave a la hora de definir aquellos elementos que contienen, la radiación que emiten y realizar el cálculo del tiempo de aislamiento necesario. En este sentido, la Argentina ha optado por un criterio de clasificación de los residuos radiactivos por niveles («bajo», «medio», «alto») de acuerdo con el tipo de radiación y decaimiento de los elementos que contienen. Los residuos de nivel bajo y medio se producen en la operación y mantenimiento de los reactores y de otras instalaciones nucleares; y también, aunque en menor medida, a partir de las aplicaciones de radioisótopos en medicina, industria e investigación. Casi todos los residuos de nivel alto son generados en las tres centrales nucleares.

En definitiva, el conocimiento adquirido por la CNEA en más de 70 años de experiencia en seguridad nuclear se utiliza para la remediación definitiva de todos aquellos sitios donde tuvo lugar la minería del uranio, lo que marca un camino de minería sustentable y otro para la gestión de los residuos y combustibles nucleares ya utilizados. Justamente, este es el principal objetivo del PRAMU y del PNGRR, es decir, aplicar ese conocimiento y posicionar al Estado como el actor principal a la hora de cumplir con la legislación ambiental vigente; y asegurar, al mismo tiempo, el desarrollo sustentable, la conservación del medioambiente y la salud de la población argentina.

Glosario

Actínidos: grupo de 15 elementos de numeración atómica del 89 al 103. Al igual que los lantánidos, pertenecen al grupo de las denominadas «tierras raras». Con tiempo de vida, son pesados y tóxicos por su radioactividad, por lo que pueden producir tumores cancerígenos en el cuerpo humano (<https://conceptodefinicion.de/actinidos/>).

Agua de mina: involucra todas las aguas impactadas durante la minería, como el agua fresca, el agua de procesos, las escorrentías de aguas residuales, el agua de contacto y el drenaje de mina (<https://www.srk.com/es/servicios/agua-de-la-mina#:~:text=El%20agua%20de%20la%20mina,contacto%20y%20drenaje%20de%20mina>).

Barras de zircaloy: aleación de circonio con trazas de estaño, hierro, cromo y níquel empleada en las vainas del combustible de reactores nucleares por sus propiedades mecánicas, su resistencia a la corrosión y su baja sección eficaz para absorber neutrones (<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos/zircaloy>).

Bituminización: proceso por el cual se impermeabilizan los caminos o «solados» (estacionamientos, veredas, plazas deportivas, pisos) para hacerlos más durables, reducir desgaste y roturas en los vehículos, y evitar que se levante polvo al transitarlos. Para ello, se emplea una mezcla de grava y betún caliente que se vierte sobre el suelo previamente compactado.

Bocas de minas: galería o pozo que sirve de entrada a una mina.

Colas de mineral: el proceso minero de extracción y concentración de minerales genera residuos conocidos como «colas». Aquellos que no poseen minerales de interés económico se acumulan en grandes pilas denominadas «depósitos de estériles» o «escombreras». Si los residuos son sólidos, pueden acumularse como escombreras (<https://aargentinapciencias.org/grandes-temas-ambientales/mineria-y-ambiente-3/>).

Cortavetas: labores horizontales y perpendiculares al rumbo del cuerpo mineralizado (<https://es.slideshare.net/psicologo88/terminologia-minera>).

Diaclasas: fracturas de las rocas en las que no hay desplazamientos de los bloques. Caso contrario, se trata de «fallas» (https://biologia-geologia.com/BG4/743_diaclasas.html).

Diques de cola: presas o depósitos donde se resguardan los residuos mineros (cuando son lodos o mezclas líquidas de materiales finos), transportados mediante ductos, ya sea por gravedad o con ayuda de bombeo (<https://aargentinapciencias.org/grandes-temas-ambientales/mineria-y-ambiente-3/#:~:text=4,-Los%20diques%20de%20colas,se%20denominan%20diques%20de%20cola>).

Diuranato de amonio: compuesto químico sólido y de color amarillo que se produce durante la fabricación del concentrado de uranio (https://es.frwiki.wiki/wiki/Diuranate_d%27ammonium).

Elución: proceso de extracción de un material de otro a través del lavado con un solvente.

Estroncio: es el menos abundante de los metales alcalinotérreos (la corteza de la Tierra contiene el 0,042 % de estroncio).

Ley de mineral: medida que sirve para describir el grado de concentración de los recursos naturales valiosos (como los metales o minerales) presentes en una mena, utilizada para determinar la viabilidad económica de una operación de explotación minera. Para los metales preciosos y las gemas, se expresa generalmente en una cantidad de material por tn de mena, partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb), mientras que para otros metales y los minerales industriales se expresa como porcentaje.

Lixiviación: extracción a partir de un mineral de una sustancia por medio de reactivos que la disuelven o transforman en sales solubles.

Minerales de baja ley: cobre, estaño, plomo, etc.

Nivel freático: también conocido como «capa freática», corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

Octóxido de uranio: esta sustancia polvorienta amarilla. Forma más estable de óxido de uranio y más comúnmente encontrada en la naturaleza ([http://www.u3o8corp.com/es/nuestras-materias-primas/uranio/que-es-el-uranio/#:~:text=El%20oct%C3%B3xido%20de%20uranio%20\(U3O8,com%C3%BAnmente%20encontrada%20en%20la%20naturaleza\)](http://www.u3o8corp.com/es/nuestras-materias-primas/uranio/que-es-el-uranio/#:~:text=El%20oct%C3%B3xido%20de%20uranio%20(U3O8,com%C3%BAnmente%20encontrada%20en%20la%20naturaleza).)).

Piques: labor minera hacia abajo, hacia el piso (<https://es.slideshare.net/psicologo88/terminologia-minera>).

Pirólisis: degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno. Esta descomposición se realiza mediante calor, por lo que no se producen reacciones de combustión. Las resinas poliméricas de intercambio iónico son empleadas a nivel industrial para purificar agua en los circuitos primario y secundario

de las centrales nucleares (<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Pirolisis.aspx#:~:text=La%20pirolisis%20es%20una%20degradaci%C3%B3n,produzcan%20las%20reacciones%20de%20combusti%C3%B3n>).

Plasma inductivo: tipo de tratamiento de plasma basado en el uso de inducción electromagnética para crear descargas de plasma a temperaturas extremadamente elevadas. Se realizan generalmente a partir de gas argón que se introduce en un cilindro de cuarzo en donde se ha creado un campo magnético mediante un electrodo en espiral que rodea al cilindro. Esto induce corrientes eléctricas dentro del gas y como resultado se crea un plasma que puede alcanzar temperaturas desde 6000 hasta 10.000 kelvins (también pueden crearse plasmas a temperaturas mucho menores) (<https://www.thierry-corp.com/es-mx/plasma-knowledgebase/plasma-de-inducci%C3%B3n#:~:text=El%20plasma%20de%20inducci%C3%B3n%20o,a%20partir%20de%20gas%20arg%C3%B3n>).

Prospección: etapa donde se buscan minerales aprovechables en una zona determinada. Está basada en estudios geológicos y otras técnicas como la geofísica, geoquímica, interpretación de imágenes satelitales y otras de carácter regional, que sirven para determinar los principales blancos prospectivos para explorar (<https://www.gob.pe/institucion/ingemmet/noticias/319317-presentan-la-importancia-de-la-prospeccion-y-exploracion-para-el-desarrollo-minero-nacional>).

Radio: elemento radiactivo raro encontrado en minerales de uranio en proporción de una parte por aproximadamente 3 millones de partes de uranio (<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ra.htm>).

Radioisótopos: son la forma inestable de un elemento que emite radiación para transformarse en una forma más estable. La radiación se puede rastrear fácilmente y causar cambios en la sustancia que la recibe, lo cual hace que los radioisótopos sean útiles en la medicina, la industria y otras esferas (<https://www.iaea.org/es/temas/radioisotopos>).

Radionucleidos: forma inestable de un elemento que libera radiación a medida que se descompone y se vuelve más estable. Los radionúclidos se pueden presentar en la naturaleza o producir en el laboratorio. En el campo de la medicina, se usan en las pruebas de imaginología y para tratamiento. También se llama radioisótopo (<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/radionuclido>)

Radón: gas radiactivo de origen natural que puede encontrarse en altas concentraciones en espacios interiores como viviendas y lugares de trabajo. Es una de las principales causas de cáncer de pulmón.

Resinas de intercambio iónico: materiales sintéticos (normalmente esferas de 0,5-1 mm de diámetro) destinadas al tratamiento de aguas residuales industriales (<https://condorchem.com/es/resinas-intercambio-ionico/>).

Uranio empobrecido: metal denso derivado del enriquecimiento del uranio natural como combustible nuclear. Su nivel de radiación es mucho más bajo que del material de partida. Se puede utilizar en proyectiles perforantes y en «bombas sucias» para aumentar su capacidad de penetración.

Referencias bibliográficas

- Comisión Nacional de Energía Atómica (2005). Proyecto de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU). Evaluación ambiental. Documento marco (Documento provisto por la institución al autor).
- Comisión Nacional de Energía Atómica (2020). Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos (Documento provisto por la institución al autor).
- Comisión Nacional de Energía Atómica (2022). *Informe del Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR)* (Documento provisto por la institución al autor).
- De Dicco, R., Deluchi, F. y Ferrer, J. (2015). *Argentina puesta a crítico: resultados y desafíos del Plan Nuclear Argentino*. Planeta.
- Gallegos, E. (15 de abril de 2015). Presente y futuro de los recursos de uranio en Argentina. *U238. Tecnología Nuclear para el Desarrollo*. <https://u-238.com.ar/presente-y-futuro-de-los-recursos-de-uranio-en-argentina>
- Hurtado, D. (2014). *El sueño de la Argentina atómica. Política, tecnología y desarrollo nacional (1945-2006)*. Edhasa.
- Iramain, L. (2021). Aproximación a la historia del Estado empresario y las empresas públicas en la Argentina (1930-1955). *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 2(80). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/issue/view/127>
- Maset, E. (29 de junio de 2012). *Gestión de residuos radiactivos y combustibles gastados* [Ponencia]. Jornadas de Energía Nuclear de la Maestría en Gestión de la Energía (UNLA-CNEA), Buenos Aires, Argentina.
- Molinari, J. (10 de julio de 2013). Energía nuclear y medioambiente: una buena comunicación es posible. En *U238. Tecnología Nuclear para el Desarrollo*. <https://u-238.com.ar/energia-nuclear-y-medioambiente-una-buena-comunicacion-es-posible/>
- Molinari, J. (6 de octubre de 2017). *Comunicación y actores sociales en el marco de la remediación de sitios mineros* [Ponencia]. XI Congreso Argentino de Seguridad Radiológica y Nuclear, Buenos Aires, Argentina. <https://radioproteccionsar.org.ar/>

[online/doc/congreso_argentino_xi_2017/Comunicacion_y_actores_sociales_en_el_marco_de_la_remediacion_de_sitios_mineros_molinari.pdf](https://www.cnea.gov.ar/online/doc/congreso_argentino_xi_2017/Comunicacion_y_actores_sociales_en_el_marco_de_la_remediacion_de_sitios_mineros_molinari.pdf)

- Molinari, J., Orcellet, E. y Sayán, J. (2018). *Participación de las partes interesadas en la restauración ambiental de la minería de uranio en Argentina y América Latina. El caso del parque temático «El Mirador»*. CNEA.
- Palamidessi, H. (2006). Uranio en Argentina. *Industrializar Argentina*, año 4, (5).
- Plaza, H. C. (2003). La industria del uranio en Argentina. *Seguridad Radiológica*, (22), 16-21.
- Quilici, F. D. (2010). *La fabricación de los elementos combustibles para los reactores nucleares de potencia en Argentina: un caso de inversiones productivas realizadas por un organismo de ciencia y técnica*. <https://www.cnea.gov.ar/es/wp-content/uploads/files/combustibles.pdf>
- Quilici, F. y Spivak L'Hoste, A. S. (2018). Del aprender haciendo al cierre del ciclo con efecto demostración: la crónica del reprocesamiento de combustible nuclear en Argentina. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 13(39), 33-57. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/93795>
- Zappino, J. (2022a). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(84). <https://publicaciones.inap.gov.ar/index.php/CUINAP/issue/view/134>
- Zappino, J. (2022b). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 2. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(85). <https://publicaciones.inap.gov.ar/index.php/CUINAP/issue/view/135>
- Zappino, J. (2022c). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo IV. El ciclo del combustible nuclear argentino: los casos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. Parte 1. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(93). <https://publicaciones.inap.gov.ar/index.php/CUINAP/issue/view/144>
- Zappino, J. (2022d). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo IV. El ciclo del combustible nuclear argentino: los casos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. Parte 2. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(94). <https://publicaciones.inap.gov.ar/index.php/CUINAP/issue/view/145>

Otros títulos del autor sobre la misma temática

Cuinap 78: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 1

Cuinap 79: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 2

Cuinap 84: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1

Cuinap 85: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 2

Cuinap 119: Empresas públicas, tecnología y desarrollo V. El ciclo del combustible nuclear argentino: la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP)

CUINAP | Argentina, Cuadernos del INAP

Año 4 - N.º 120 - 2023

Instituto Nacional de la Administración Pública

Av. Roque Sáenz Peña 511, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

CP: C1035AAA - Tel.: 6065-2310 – Correo electrónico: dinvesti@jefatura.gob.ar

ISSN 2683-9644

Editor responsable

Leandro Bottinelli

Coordinación editorial

Leticia Mirás

Edición y corrección

Eugenia Caragunis

Arte de tapa

Roxana Pierri

Federico Cannone

Diseño y diagramación

Lucía Fernández Carrascal

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autoras/es y no comprometen la posición oficial del INAP.

El INAP no asume responsabilidad por la continuidad o exactitud de los URL de páginas web externas o de terceros referidas en esta publicación y no garantiza que el contenido de esas páginas web sea, o continúe siendo, exacta o apropiada.

El uso del lenguaje inclusivo y no sexista implica un cambio cultural que se enmarca en un objetivo de la actual gestión de Gobierno y se sustenta en la normativa vigente en materia de género, diversidad y derechos humanos en la Argentina. En esta publicación se utilizan diferentes estrategias para no reproducir prejuicios y estereotipos que promuevan la desigualdad, la exclusión o la discriminación de colectivos, personas o grupos.



Los Cuadernos del INAP y su contenido se brindan bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 2.5 Argentina. Es posible copiar, comunicar y distribuir públicamente su contenido siempre que se cite a las/os autoras/es individuales y el nombre de esta publicación, así como la institución editorial. El contenido de los Cuadernos del INAP no puede utilizarse con fines comerciales.

Esta publicación se encuentra disponible en forma libre y gratuita en: publicaciones.inap.gob.ar

Abril 2023

Secretaría de
Gestión y Empleo Público



Jefatura de
Gabinete de Ministros
Argentina