X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica
"Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución"
Buenos Aires, 12 al 17 de abril, 2015
SOCIEDAD ARGENTINA DE RADIOPROTECCIÓN

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LA MINERÍA DEL URANIO EN EL SITIO MALARGÜE, MENDOZA, ARGENTINA.

Barari, E.R.[1], Meza, J.C.[1]

[1] Comisión Nacional de Energía Atómica

RESUMEN

La Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina, a través del Proyecto de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio, está ejecutando el proyecto de gestión definitiva de 700.000 t de colas de mineral de uranio en el Sitio Malargüe. Allí se efectúan, durante los trabajos de obra, tareas de monitoreo radiológico incluidas en el plan de monitoreo ambiental y de áreas de trabajo.
A través del monitoreo de los trabajos de gestión de los pasivos, se controlan las variables radiológicas en cumplimiento de regulaciones nacionales y en concordancia con recomendaciones internacionales, para asegurar las condiciones de seguridad del personal ocupacionalmente expuesto que trabaja en el Sitio y la población en general. Con el uso de moderno equipamiento de medición y la aplicación de técnicas, metodologías y procedimientos se analizan datos desde el año 2010, año de reactivación del proyecto, evaluándose parámetros radiológicos ambientales y ocupacionales.
Del análisis de los datos obtenidos como resultado de las mediciones se deduce que las condiciones radiológicas ambientales en los alrededores del sitio durante la gestión son similares al fondo de radiación natural del emplazamiento y que los trabajadores reciben dosis muy por debajo de los límites establecidos.
Asimismo, las mediciones de tasa de dosis y emanaciones de radón en áreas ya rehabilitadas confirman no sólo las buenas prácticas empleadas, sino también la eficacia de la solución de ingeniería propuesta.

1. INTRODUCCIÓN [1]

El Proyecto de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio, de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), tiene por objeto lograr que, en todos aquellos sitios en los cuales se han desarrollado actividades relacionadas con la minería del uranio, se restituya el ambiente tanto como sea posible en términos de razonabilidad económica y técnica, teniendo en cuenta el punto de vista ambiental y la salud pública, incluyendo consideraciones sobre el uso futuro de los sitios y zonas afectadas.

La CNEA procesó minerales de uranio en el ex Complejo Fabril Malargüe, hoy Sitio Malargüe, Figura 1. El predio es propiedad de la CNEA y consta de 40 ha que se localizan en el extremo noreste de la ciudad de Malargüe. La planta industrial produjo 752 toneladas de uranio entre los años 1954 y 1986 con mineral proveniente de la mina Huemul, a 50 km al sur de Malargüe, y luego del yacimiento Dr. Baulíes-Los Reyunos, a 180 km, en el vecino departamento de San Rafael.

[1] E-mail del Autor. barari@cnea.gov.ar

Como consecuencia de la actividad industrial se generaron 710.0000 toneladas (450.000 metros cúbicos) de colas de mineral acopiadas en unas 6 hectáreas dentro del Sitio en una pila de 6 metros de altura aproximadamente.

Una vez finalizada la producción, la CNEA inició los estudios necesarios para obtener los datos de base, tendientes a la clausura del Sitio, evaluando los impactos ambientales producidos y desarrollando un proyecto de ingeniería que permitiera acondicionar y estabilizar las colas de mineral a largo plazo.

Dicho Proyecto de Gestión de Pasivos Ambientales, realizado acorde a la legislación vigente y la aplicación de criterios y recomendaciones internacionales, es controlado y fiscalizado por la Autoridad Regulatoria Nuclear. Asimismo, fue aprobado por la autoridad de aplicación de la provincia de Mendoza en 1997, luego de haber presentado la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente. Básicamente el proyecto de ingeniería consiste en el aislamiento de los pasivos ambientales a través de un sistema de confinamiento multicapa dentro del Sitio. La celda de confinamiento ocupará 11 hectáreas con una altura de 10 metros aproximadamente; garantizará la sequedad, estanqueidad y resistencia estructural a largo plazo, considerando, entre otros, factores externos como nieve, viento, lluvia movimientos sísmicos, intrusión humana, de animales y plantas. En su construcción intervienen materiales naturales (grava, arcilla, arena, limo y roca) que se extraen de canteras localizadas en las inmediaciones del Sitio

Figura 1. Imagen satelital sitio Malargüe.

Los residuos a gestionar están constituidos principalmente por las colas de mineral y precipitados cálcicos provenientes del proceso de neutralización de pulpas y líquidos estériles del proceso.

La caracterización radiológica de los residuos de baja actividad indicó un contenido medio de uranio del orden de 155 μg/g y un contenido medio de radio de 12 pCi/g. La composición radiológica de los residuos, compuesta básicamente por elementos provenientes de la cadena de desintegración radiactiva del uranio natural, está comprendida dentro de valores promedio que se presentan comúnmente en otras plantas del mundo.

Una característica general de los residuos sólidos almacenados es la presencia de acidez residual. Los ensayos realizados con los residuos sólidos mostraron que el valor del pH del líquido en contacto con el material superficial de la pila estaba entre 7 y 8, mientras que para su base ese valor descendía a 3.

Trabajos realizados para la caracterización radiológica de las colas de mineral y su relación a la población y el ambiente indican quesi bien en la actualidad no hay riesgo asociado a la población que vive en las inmediaciones del Sitio, se tomó la decisión de gestionar las colas de mineral a fin de garantizar para las generaciones presentes y futuras un estado de situación de impacto mínimo, seguro y sostenible.

2. PLAN DE MONITOREO RADIOLÓGICO AMBIENTAL [1],[2]

En la Tabla 1 se muestra el Plan de Monitoreo Radiológico Ambiental durante la ejecución del proyecto. En la Tabla 2 el plan de monitoreo ocupacional y de áreas de trabajo

Tabla 1. Plan de Monitoreo ambiental

Factor Ambiental	Parámetro	Lugar de muestra	Frecuencia	Metodología	Límites y Recomendaciones
Aire	Concentración de radón y productos de decaimiento Tasa de emisiones	Áreas adyacentes	Semestral	Detector pasivo Detector activo	Viviendas (Radón) ICRP 300 Bq/m^3 ARN - Norma AR 10.1.1. rev. 3): 400 Bq/m^3
	Concentración de partículas suspendidas: medición de Uranio	Áreas adyacentes y canteras	Trimestral	Muestreador de alto volumen	
Agua (Superficial y Subterránea)	Radiológicos: U y Ra	Regional Aguas superficiales y subterráneas Lechos de arroyos cercanos a las canteras	Semestral Asistemático	Fluorimetría láser. Método de Rashing para Ra.	Ley 24051 Protección ambiental para la Actividad Minera y Decreto Reglamentario 831/93 (Ley de residuos Peligrosos): U = 100 µg/l Ra = 5 pCi/l (US EPA)
Exposición	Radiación Gamma	perímetro del emplazamiento	Bimestral	Monitor portátil para protección radiológica	Límite para público, (ARN - Norma AR 10.1.1. rev. 3): 1 mSv/año

Tabla 2. Plan de Monitoreo ocupacional y de áreas de trabajo.

Factor Ambiental	Parámetro	Lugar de muestra	Frecuencia	Metodología	Límites y Recomendaciones
Aire	Concentración de radón y productos de decaimiento Tasa de emisiones	Emplazamiento	Semestral	Detector pasivo Detector activo	Viviendas (Radón) ICRP 300 Bq/m^3 ARN - Norma AR 10.1.1. rev. 3): 400 Bq/m^3 Trabajadores (Radón) ARN - Norma AR 10.1.1. rev. 3: 14 mJ h / m^3 año de energía Alfa potencial
	Concentración de partículas suspendidas: medición de Uranio	Emplazamiento	Trimestral	Muestreador de alto volumen	
Exposición	Radiación Gamma	Pilas de colas de mineral y perímetro del emplazamiento	Bimestral Permanente para personal en áreas de trabajo con colas de mineral	Monitor portátil para protección radiológica Dosímetros personales	Límite para trabajadores (ARN - Norma AR 10.1.1. rev. 3): 100 mSv/5 años (20 mSv/año en promedio) Máximo de 50 mSv en un único año.

Para facilitar la toma de muestras y análisis de datos de los monitoreos, se divide al Sitio y Área de influencia en sectores, Figura 2.

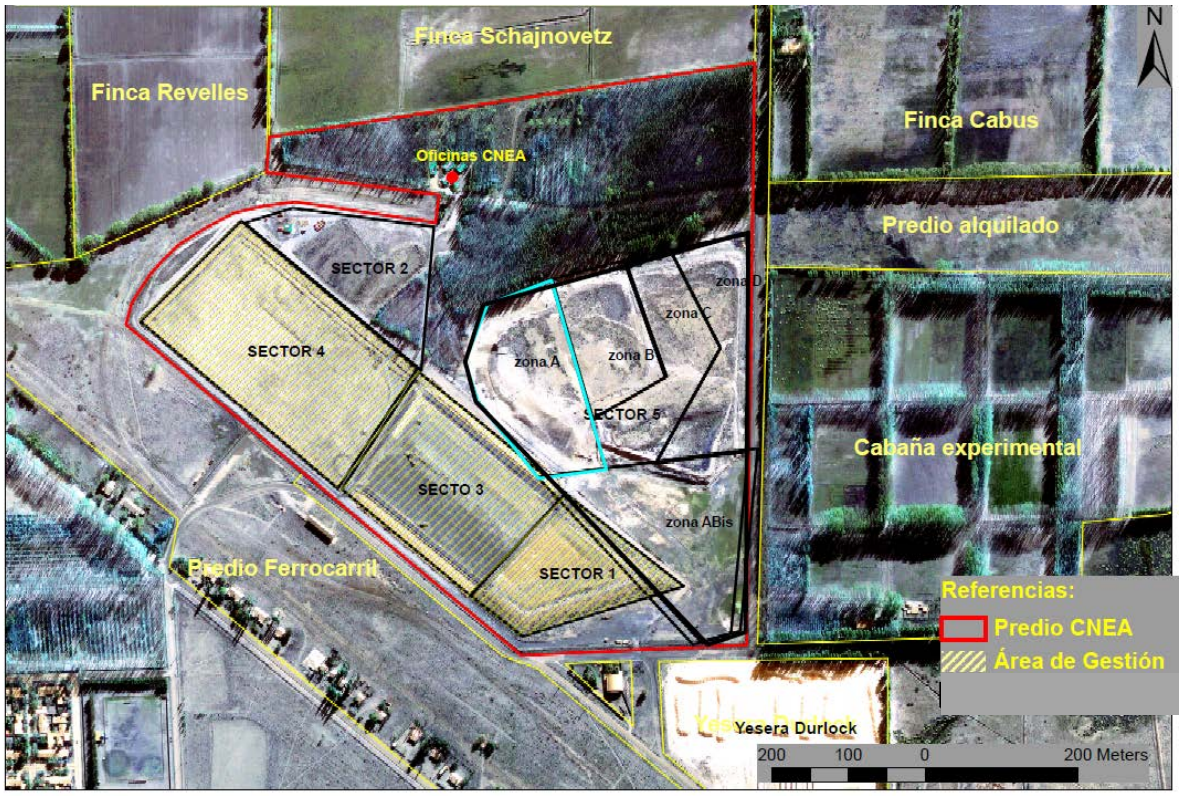

Figura 2. Sectorización Sitio Malargüe

2.1. Monitoreo ambiental

2.1.1. Monitoreo de tasa de dosis Equivalente Ambiental $H^*_{(10)}$ [3],[4],[6]

En la Figura 3 se muestran los puntos de monitoreo dentro del Sitio y áreas de influencia.

Equipo Empleado: radiámetro FH40 G-L de Thermo Electrón con detector tubo contador proporcional – error de lectura <5% - límite de detección 10 nSv/h. Datos de detección: altura de medición 1 metro.

El detector es programado para medir por un periodo de tiempo de 1200 segundos o 400 cuentas, así se detiene automáticamente cuando se cumple una de las dos condiciones, mostrando el valor medio de tasa de dosis. De esta misma manera se mide el fondo natural de radiación.

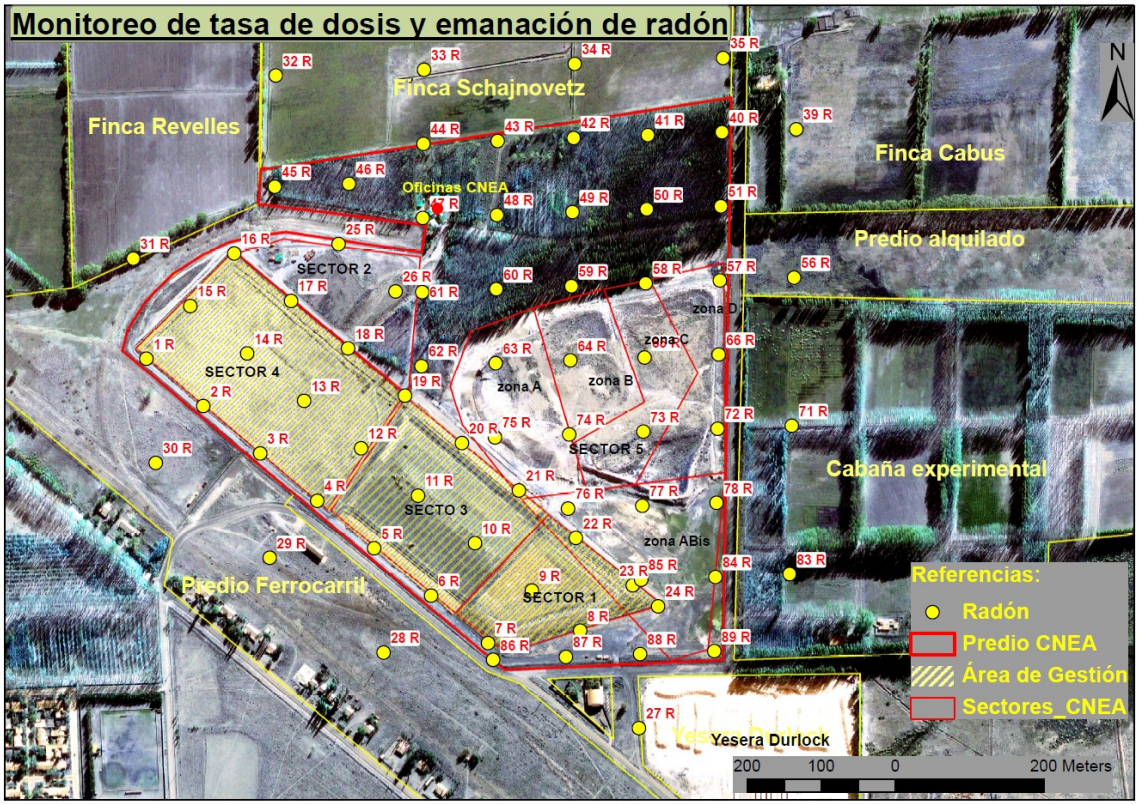

Figura 3. Imagen satelital con localización de puntos de monitoreo de tasa de dosis equivalente ambiental y de tasa de emanación de gas radón

La Tabla 3 presenta los promedios anuales de los Sectores fuera del Sitio. El fondo natural de radiación de la zona es del orden de 0,15 µSv/h, este ya fue restado a los datos obtenidos.

Tabla 3. Resultados del Monitoreo ambiental de tasa de dosis

Tasa de Dosis Promedio				
Sectores / Año	H*(10) (µSv/h)			
	2011	2012	2013	2014
LA CABAÑA	0,15	0,15	0,15	.0,05
PRED.ALQ.	0,15	VND*	VND*	VND*
CABUS	0,05	VND*	VND*	VND*
SCHAJNOVETZ	0,05	0,05	0,05	0,05
FERROCARRIL	0,05	0,05	0,05	0,05

VND*: valor no disponible por no tener acceso a la propiedad.

Si bien las dosis son bajas y del orden del fondo natural de radiación, se evidencia como disminuyen a medida que avanza la gestión de los pasivos.

2.1.2. Monitoreo de concentración de actividad de ^{222}Rn [3],[4],[6]

La Figura 4 muestra las estaciones de monitoreo dentro del Sitio y áreas de influencia

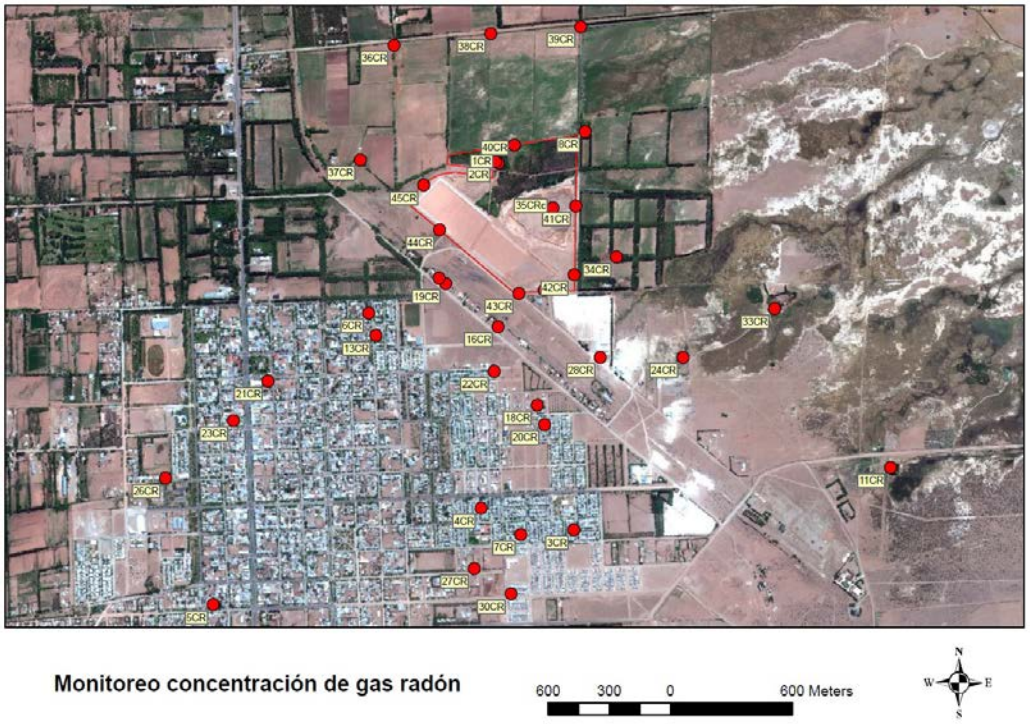

Figura 3. Estaciones de monitoreo de concentración de actividad de gas radón (^{222}Rn)

Se monitorean 45 estaciones de las cuales 10 están dentro del Sitio y el resto en la ciudad de Malargüe. De las estaciones que están en la ciudad (viviendas) el máximo valor detectado corresponde al punto 25 con 130Bq/m^3 y un mínimo de 19Bq/m^3 para el punto 19.

Los valores son bajos, por debajo de los 300Bq/m^3 del ICRP 115 y de los 400 que norma la AR 10.1.1 rev.3; las variaciones que se observan corresponden a la mayor o menor ventilación de las viviendas y no a la cercanía del Sitio.

Equipos empleados:

- En interiores: Monitor profesional continuo radón modelo 1027 de Sun Nuclear; detector: fotodiodo Datos de detección: altura de medición 1 metro. Tiempo de medición 3 días.

- En interiores y exteriores: Detectores de trazas nucleares de gas ^{222}Rn. Tiempo de exposición por un periodo de 4 a 6 meses, altura 1,8m. Este equipo se adquirió en el año 2012, es por esto que no hay lecturas de concentración de actividad en el exterior de las viviendas para los años anteriores.

2.1.3. Monitoreo de tasa de emanación de ^{222}Rn [3],[5],[6]

La figura 2 muestra las estaciones de monitoreo de tasa de emanación de ^{222}Rn dentro y fuera del Sitio. Las estaciones se monitorean con una frecuencia semestral.

Equipo empleado: The Nucleus, detector cristal de INa de 3"x3"; software de adquisición de datos "Radón II".

La tabla 4 presenta los valores promedios anuales de monitoreo fuera del Sitio Malargüe.

Tabla 4: Valores de tasa de emanación de ^{222}Rn

SECTOR	Promedio de Sectores (Bq/m2 seg)				Estándar USEPA para sitios Remediados (0,74 Bq/m2 seg).
	2011	2012	2013	2014	
LA CABAÑA	0,07	0,09	0,07	0,17	No Supera
PRED. ALQ.	0,02	0,18	VND*	VND*	No Supera
CABUS	0,03	VND*	VND*	VND*	No Supera (solo para el año 2011)
SCHAJNOVETZ	0,02	0,02	0,01	0,02	No Supera
FERROCARRIL	0,01	0,01	0,01	0,02	No Supera
VND* valor no disponible por no tener acceso a la propiedad					

2.1.4. Monitoreo regional de agua.

Se monitorean 32 puntos, cubriendo una superficie de 2500km^2, 17 puntos son de agua superficial y 15 de agua subterránea. Frecuencia de muestreo semestral.

Los resultados promedio obtenidos tanto para agua superficial y subterránea están por debajo de los niveles guía establecidos y son de 6,34µg/l de uranio y 0,45pCi/l de ^{226}Ra para agua superficial; para agua subterránea los valores promedio son 4,08 µg/l y 0,43pCi/l de uranio y ^{226}Ra respectivamente.

2.2. Monitoreo ocupacional y de áreas de trabajo

En las áreas de trabajo se monitorea tasa de dosis y aire (particulado, uranio, concentración de actividad y tasa de emanación de radón). Los trabajadores realizan monitoreos periódicos de orina con frecuencia semanal y portan dosímetro personal.

2.2.1. Monitoreo ocupacional de tasa de dosis

La Tabla 5 presenta los promedios anuales de cada Sector dentro del Sitio.

Tabla 5. Resultado de monitoreo ocupacional de tasa de dosis

Evaluación de Dosis Laboral Promedio basado en 2000 hs Anuales										
Sector / Año	H*(10) (µSv/h)					Dosis anual debida a radiación gamma (mSv)				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
1	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6
2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3
3	1,0	0,9	0,7	0,8	0,9	1,9	1,9	1,4	1,5	1,9
4	0,3	0,2	1,0	1,9	1,3	0,5	0,4	2,1	3,8	2,5
5	3,6	2,0	2,6	2,2	1,2	7,2	4,1	2,6	2,6	2,6
A5 Abis	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3
SECTOR OFIC.	*	0,2	0,2	0,2	0,1	*	0,4	0,4	0,4	0,2
*este sector no estuvo en principio incluido en el plan de monitoreo										

2.2.2. Monitoreo de concentración de actividad de ^{222}Rn

Se monitorean 10 estaciones dentro del Sitio, el máximo valor detectado corresponde a la estación número 41con 463Bq/m^3 en el año 2013 en el perímetro este de colas de mineral y un mínimo de 30 Bq/m^3 para la estación número 2 (guardia de gendarmería) en el año 2014.

2.2.3. Monitoreo de tasa de emanación de ^{222}Rn

La tabla 6 presenta los valores promedios anuales de monitoreo dentro del Sitio Malargüe.

Tabla 6 Valores de tasa de emanación de ^{222}Rn

SECTOR	Promedio de Sectores (Bq/m2 seg)					Estándar USEPA para sitios Remediados (0,74 Bq/m2 seg).
	2010	2011	2012	2013	2014	
1	0,1	0,12	0,05	0,05	0,07	No Supera
2	0,1	0,07	0,07	0,02	0,08	No Supera
3	1,21	0,89	2,19	1,95	0,13	Supera (2010, 2011, 2012, 2013)
4	0,02	0,04	0,02	1,04	0,10	No Supera
5	3,46	4,83	5,79	3,61	4,63	Supera
A5 Abis	0,07	0,26	0,18	0,09	0,14	No Supera
PORTON OBRA	*	0,01	0,11	0,06	0,10	No Supera
*este sector no estuvo en principio incluido en el plan de monitoreo						

Los casos en el estándar es superado son porque la cobertura no está finalizada o en el sector no se termina la gestión de las colas de mineral, se estima que al igual que los sectores ya gestionados cumplan con los valores recomendados.

2.2.4. Monitoreo de uranio en orina

Se efectúa durante la remoción de colas de mineral a todo el personal que trabaja en área principal. El mismo se lleva a cabo con una frecuencia semanal. Método utilizado: fluorimetría; límite de detección 5µgU/l.

Los resultados analíticos de todo el personal monitoreado se encuentran por debajo del límite de detección.

2.2.5. Dosimetría personal ocupacional [3],[4],[6]

Se monitorearon 67 personas durante los años 2010 a 2014. Los valores obtenidos son muy bajos, el valor máximo medido fue de 2,2mSv/año en al año 2013, el mínimo fue de 0,1mSv/año en el año 2012

Equipo usado: dosímetros TLD provistos por el servicio de dosimetría del Centro Atómico Constituyentes. Para brindar el informe de dosis del personal ocupacionalmente expuesto el

servicio cuenta con dos Lectoras de TLD's modelo Harshaw 3500, y utiliza dosímetros termoluminiscentes TLD 700 (LiF7). Tiempo de medición: bimestral.

2.2.6. Material particulado

Se monitorean 3 puntos dentro del Sitio con medidores de alto volumen marca TISCH ENVIRONMENTAL, cuya metodología de muestreo responde a la norma EPA 40; el tiempo de muestreo es de 24hs y la frecuencia trimestral.

De los filtros analizados sólo uno de los puntos mostró una concentración de uranio de 5,9x10-6 mg/l, el cual está muy por debajo de los valores de concentración media ambiental mundial (0,025 a 1 mg/l). el resto de los valores está por debajo del límite de detección del equipo (0,005mg/filtro, técnica utilizada FRX RT).

2.2.7. Monitoreo de suelos

Durante la gestión se realizan mediciones sobre los factores ambientales en las áreas directamente impactadas por las colas de mineral, hasta lograr valores que permiten liberar las áreas. Los valores promedio para suelo, en las áreas ya gestionadas son: menores a 5pCi/g de ^{226}Ra en los primeros 15cm y menores a 15pCi/g los siguientes 15cm según los estándares fiados por la US EPA. Así mismo se liberan las áreas por tasa de dosis, la cual no debe superar los 0.2µSv/h sobre el fondo natural de radiación.

3. CONCLUSIONES

Las condiciones radiológicas ambientales en los alrededores del sitio durante la gestión son similares al fondo de radiación natural del emplazamiento.

Los valores correspondientes al personal ocupacionalmente expuesto en el Sitio Malargüe se encuentran muy por debajo de los límites de dosis establecidos por la Autoridad Regulatoria Nuclear, así mismo los valores radiológicos en suelo y de tasa de emanación de radón en las áreas ya remediadas se encuentran por debajo del estándar establecido por la US EPA para sitios remediados.

La eficacia de la celda de confinamiento implementada queda en evidencia a través de la disminución de los valores de la tasa de emanación de Radón en taludes (cuentan con la barrera multicapa completa) medidos en 2014, adaptándose a los estándares de US EPA para sitios remediados.

4. REFERENCIAS

1. Asenjo, A; Diaz, G; Giordano, N; Liseno, A; Meza, J; "*Evaluación Ambiental Malargüe*", IN-SNA/Pramu-M-001 Rev 0. 31 de mayo de 2007
2. Barari, E; "*Procedimiento General de Monitoreo Radiológico"*, PG-SNA/Pramu CT – 003, *Rev.: 0.* 2014
3. Barari, E; "*Monitoreo Radiológico 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014-Sitio Malargüe"* IN-SNA/Pramu-M-033 Rev 0. IN-SNA/Pramu-M-042 Rev 0. IN-SNA/Pramu-M-048 Rev 0. IN-SNA/Pramu-M-050 Rev 0. M-IT-N°054.
4. SEPR, APCNEAN, *ICRP 103-"Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica"*. 2007.
5. *U.S EPA Standards for Uranium Mill Tailings "Criteria Relating to the Operation of Uranium Mills and the Disposition of Tailings or Wastes Produced by the Extraction or Concentration of Source Material From Ores Processed Primarily for Their Source Material Content- Appendix A to Part 40,* 2011.
6. ARN - *Norma AR 10.1.1. rev. 3 "Norma básica de seguridad radiológica"*, 2003