

Parte III

SISTEMA REGULATORIO NUCLEAR ARGENTINO

En el cumplimiento de su función de regular y fiscalizar la actividad nuclear en todo lo referente a la seguridad radiológica y nuclear, las garantías de no proliferación nuclear y la protección y seguridad física, la Autoridad Regulatoria Nuclear llevó a cabo en el año 2011 las actividades que se detallan a continuación.

Fiscalización de instalaciones y prácticas

Las instalaciones fiscalizadas por la ARN tienen diversos propósitos tales como la generación de energía eléctrica, la fabricación de elementos combustibles para reactores nucleares, la producción de radioisótopos, la producción de fuentes radiactivas, la esterilización de material médico y la aplicación de las radiaciones ionizantes en la industria, en la medicina, en el agro y en la investigación y docencia. La complejidad de las instalaciones bajo control es sumamente variable y su distribución geográfica cubre todas las provincias del país. Según el propósito, la instalación debe cumplir con requisitos de diseño, equipamiento y personal, previos al licenciamiento de la operación.

Para optimizar el control regulatorio de las instalaciones que utilizan radiaciones ionizantes, la ARN las ha agrupado en:

- Reactores nucleares y conjuntos críticos, dedicados a la producción de energía eléctrica, de radioisótopos para usos medicinales, investigación básica y capacitación en la operación de reactores nucleares.
- Instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible, donde se agrupan todas las instalaciones y/o laboratorios dedicados a la producción de elementos combustibles, a la investigación de nuevos procesos químicos para la elaboración de materias primas, al enriquecimiento isotópico y a la obtención/ purificación de otros insumos para la generación de energía eléctrica y/o producción de radioisótopos de interés.



- Instalaciones radiactivas relevantes, en las que se incluyen los aceleradores lineales para uso médico con energía $E > 1$ MeV, las gestadoras de residuos radiactivos, las plantas de irradiación, los complejos mineros fabriles, las plantas de producción de fuentes radiactivas y las instalaciones con potencial de criticidad.
- Instalaciones para aplicaciones médicas e industriales, en las que se incluyen los aceleradores lineales para uso médico con energía $E < 1$ MeV, los equipos de gammagrafía industrial, los irradiadores autoblandados, las instalaciones de telecobaltoterapia, braquiterapia y de medicina nuclear, entre otras.

En la tabla que se adjunta se detalla la cantidad de instalaciones bajo control regulatorio, agrupadas por tipo de instalación.

Instalaciones bajo control regulatorio	Número
Centrales nucleares en operación	2
Central nuclear en construcción	1
Reactores de investigación y conjuntos críticos	6
Máquinas aceleradoras de partículas	9
Plantas de producción de radioisótopos o fuentes radiactivas	4
Plantas de irradiación con altas dosis(*)	5
Instalaciones pertenecientes al ciclo de combustible nuclear	30
Área de gestión de residuos radiactivos de la CNEA	2
Complejos minero fabriles(**)	8
Centros de teleterapia	182
Centros de medicina nuclear	285
Instalaciones de gammagrafía	67
Aplicaciones industriales	347
Otros usos	532

(*) No incluye las plantas PIMI y Alura, que están en construcción.

(**) Los complejos minero fabriles se encuentran fuera de servicio.

Inspecciones regulatorias

El esfuerzo de inspección en días hombre llevado a cabo por la ARN durante el año 2011, agrupado en las distintas áreas de control regulatorio se presenta a continuación.

Esfuerzo total de inspección

Área regulatoria	Días hombre
Seguridad radiológica y nuclear	4190
Salvaguardias	635
Protección y seguridad física	116

Esfuerzo de inspección en seguridad radiológica y nuclear

Tipo de instalación	Días hombre
Reactores nucleares	2828
Instalaciones radiactivas Clase I	576
Aplicaciones médicas, industriales y de investigación y docencia	710
Transporte de material radiactivo	76

Esfuerzo de inspección en salvaguardias

Tipo de instalación	Días hombre
Reactores nucleares	438
Instalaciones radiactivas Clase I e investigación y desarrollo	197

La Argentina, atendiendo su obligación de cooperar con la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC) para la aplicación del “Sistema Común de Contabilidad y Control de los Materiales Nucleares”, puso a disposición de dicha agencia, durante el año 2011, a 17 inspectores de la ARN que cumplieron inspecciones en instalaciones brasileñas totalizando un conjunto de 259 días hombre de inspección.

Esfuerzo de inspección en protección y seguridad física

Tipo de instalación	Días hombre
Reactores nucleares	26
Instalaciones radiactivas Clase I (no incluye reactores nucleares)	63
Instalaciones radiactivas Clase II	27

Con respecto al Transporte de Material Radiactivo, en la República Argentina debe efectuarse de acuerdo a lo estipulado en la Revisión 2 de la norma AR 10.16.1 “Transporte de materiales radiactivos” cuyo texto coincide con el de la Edición de 2009 del Reglamento TS-R-1 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que fue aprobada por Resolución del Directorio N° 43/11 de fecha 19 de abril de 2011. La citada norma fue publicada en el Boletín Oficial de la República Argentina correspondiente a la edición N° 32.147 de la Primera Sección del miércoles 11 de mayo de 2011, fecha a partir de la cual se encuentra en vigencia en el país.



Inspección
a bulto
Tipo B(U)

Bulto del
Tipo B(U)
preparado
para su
despacho



La ARN otorga Certificados de Aprobación como resultado de los trámites pertinentes de licenciamientos de bultos para el transporte de materiales radiactivos en forma especial y arreglos especiales. Asimismo, esta ARN lleva a cabo inspecciones con el objeto de verificar el cumplimiento de los transportes con los requisitos de aplicación de la norma citada.

Durante el año 2011, la ARN emitió las licencias, permisos, autorizaciones y demás certificados regulatorios detallados a continuación:

Tipo de documento regulatorio	Cantidad
Licencias individuales	74
Autorizaciones específicas individuales	387
Licencias de operación (Clase II)	273
Permisos individuales	736
Certificados de transporte	8
Registros individuales	96
Registros institucionales	62
Autorizaciones de importación	519
Autorizaciones de exportación	903

Sistema de reconocimiento y auditoría de cursos y carreras para otorgamiento de permisos individuales en instalaciones radiactivas Clase II y III

- Se mantiene actualizada una base de datos con el total de Carreras y Cursos reconocidos agrupados por Instituciones prestadoras de todo el país, según el procedimiento aprobado "Reconocimiento de Cursos y Carreras Externos que Acrediten Formación Teórica para el Otorgamiento de Permisos Individuales en Instalaciones Radiactivas Clase II y III".

- Continúan las acciones de reconocimiento de las Residencias Médicas en Radioterapia Oncológica de la Fundación Marie Curie y del Hospital Italiano – Mevaterapia.
- Se encuentran en etapa de revisión interna los contenidos mínimos para el curso de Dosimetría en Radioterapia.
- Ha finalizado la revisión externa y se encuentran listos para su aprobación por Resolución del Directorio los contenidos mínimos del Curso de Metodología de Aplicación de Radionucleidos.
- Se reconocieron, mediante Resolución de Directorio de la ARN, la Licenciatura en Física Médica de la Universidad Nacional de La Plata y el Curso de Radiotrazadores y Radioquímica para Investigadores de la Fundación Escuela de Medicina Nuclear.

Régimen de sanciones

El artículo 16 de la Ley N° 24.804 faculta a la Autoridad Regulatoria Nuclear para aplicar sanciones, las que deberán graduarse según la gravedad de la falta en: apercibimiento, multa que deberá ser aplicada en forma proporcional a la severidad de la infracción y en función de la potencialidad del daño, suspensión o revocación de una licencia, permiso o autorización específica. Dichas sanciones serán apelables al solo efecto devolutivo por ante la Cámara Nacional de Apelaciones en lo Contencioso Administrativo Federal.

- Los regímenes de sanciones vigentes son:
 - El Régimen de Sanciones para Instalaciones Clase II y III, prácticas no rutinarias y transporte de materiales radiactivos, ha sido establecido por Resolución del Directorio de la ARN N° 32 del 26 de agosto de 2002.
 - El Régimen de Sanciones para centrales nucleares ha sido aprobado por la Resolución del Directorio de la ARN N° 63 del 5 de mayo de 1999.
 - El Régimen de Sanciones por incumplimiento de las normas de seguridad radiológica y nuclear, protección física, salvaguardias y no proliferación nuclear en instalaciones relevantes ha sido aprobado por Resolución del Directorio de la ARN N° 24 del 11 de noviembre de 1999.

Sanciones regulatorias aplicadas

El artículo 16 de la Ley N° 24.804 inciso “g” faculta a la ARN para “Aplicar sanciones, las que deberán graduarse según la gravedad de la falta en: apercibimiento, multa que deberá ser aplicada en forma proporcional a la severidad de la infracción y en función de la potencialidad del daño, suspensión de una licencia, permiso o autorización o su revocación. Dichas sanciones serán apelables al solo efecto devolutivo por ante la Cámara Nacional de Apelaciones en lo Contencioso Administrativo Federal”.



Durante el año 2011 el Directorio de la ARN aplicó las siguientes sanciones debido a infracciones a la normativa regulatoria vigente:

Resolución Nº	Fecha	Tipo de sanción
68/11 80/11 85/11 150/11	13/06/11 20/07/11 25/07/11 31/10/11	Multas
53/11 81/11 150/11	11/05/11 20/07/11 31/10/11	Apercibimientos

Nota aclaratoria:

La Resolución Nº 150/11 aplica multa a un usuario y apercibimiento a otros dos usuarios.

Licenciamiento y control de instalaciones y prácticas radiactivas

Durante 2011 la ARN controló un conjunto de alrededor de 25 instalaciones relevantes existentes en el país, además de los reactores nucleares. Se trata de instalaciones que, calificadas en esta categoría debido al riesgo radiológico asociado, tienen finalidades diversas tales como: la producción de radioisótopos, la producción de fuentes radiactivas, la esterilización de material médico, la fabricación de combustible nuclear, la gestión de desechos radiactivos.

La inspección en cada instalación es realizada por una comisión integrada, como mínimo, por dos profesionales responsables de llevar a cabo la tarea. Ésta comienza con una fase preparatoria donde se analiza el estado de la instalación, evaluándose la documentación existente tanto en los aspectos correspondientes al plantel de operación como los inherentes a la documentación mandatoria de la instalación. Asimismo se analizan posibles modificaciones que hayan introducido en la instalación y las respuestas técnicas dadas a requerimientos anteriores efectuados por la ARN. Cumplida esta fase de evaluación previa, se planifica la inspección.

Los principales aspectos controlados en las instalaciones radiactivas relevantes durante el año 2011 fueron:

- Estado y funcionamiento de los sistemas de seguridad radiológica en la instalación.
- Registros de dosis ocupacionales.
- Verificación de las descargas de efluentes líquidos y gaseosos de la instalación.
- Almacenamiento de desechos líquidos y sólidos.
- Verificación de los sistemas de detección de incendio y seguridad física.
- Inventario radiactivo de la instalación.

- Nivel de contaminación en áreas de trabajo.
- Tasas de exposición en los diferentes ambientes de trabajo.
- Estanqueidad en cajas de guantes.
- Estado de los sistemas de ventilación y de filtros en chimeneas de descarga.
- Gestión de residuos radiactivos.

En las instalaciones relevantes la frecuencia de inspección varía entre 1 y 6 veces por año dependiendo del riesgo asociado y de factores tales como estado general de la instalación, antecedentes, actividades desarrolladas en el año, etc.

Al cabo de una inspección rutinaria puede surgir la necesidad de efectuar mediciones o evaluaciones específicas. A título de ejemplo puede mencionarse:

- Medición de la descarga de efluentes por chimenea.
- Determinaciones dosimétricas en campos mixtos de radiación.
- Pruebas en sistemas de seguridad.

Como resultado de la inspección puede observarse el cumplimiento de las condiciones establecidas en la licencia de operación y en la normativa vigente o bien un apartamiento de dichas condiciones. En este último caso la ARN elabora, a posteriori de la inspección, requerimientos con plazo de cumplimiento para modificar dicha situación.

Instalaciones médicas e industriales

Centros de teleterapia o braquiterapia

El control regulatorio sobre este tipo de instalaciones y equipamientos se ejerce en forma continua desde su instalación y puesta en marcha. En las inspecciones rutinarias, cuya frecuencia media es anual, los equipos e instalaciones se someten a una serie de verificaciones consideradas fundamentales para garantizar su operación segura. Un listado simplificado de verificaciones durante una inspección rutinaria incluye:

- Para teleterapia:
 - Sistemas de alineación y conformación del haz de radiación.
 - Sistemas de movimiento del cabezal y de la camilla de tratamiento.
 - Funcionamiento de los sistemas de interrupción de la irradiación.
 - Estado y funcionamiento de los equipos y sistemas complementarios del equipo de teleterapia.
 - Presencia de la dotación adecuada de personal de operación.

- Registros de dosimetría individual del personal ocupacionalmente expuesto.
- Las operaciones de carga/descarga de un cabezal de un equipo de cobaltoterapia se llevan a cabo, en el caso de ser necesario, en presencia de inspectores de la ARN.
- Para braquiterapia:
 - Inventario radiactivo e integridad de las fuentes.
 - Inspección del local de almacenamiento, del depósito y de la sala de internación.
 - Procedimientos de trabajo.
 - Registro del movimiento de fuentes.
 - Registros de dosimetría individual del personal ocupacionalmente expuesto.
 - Para braquiterapia remota: sistemas de interrupción de la irradiación y restantes sistemas de seguridad del equipo y de la instalación.

Centros de medicina nuclear

En este tipo de centros, durante las inspecciones, se verifican principalmente que se cumplan los siguientes aspectos:

- Los procedimientos operativos empleados incluyendo la adecuada gestión de los desechos radiactivos generados.
- El estado operativo de los equipos que posee el servicio.
- El correcto uso de los blindajes destinados a la guarda de los radionucleidos.
- Las tasas de exposición en las áreas de trabajo.
- Los niveles de contaminación superficial.
- Los registros de dosimetría individual del personal médico y técnico del servicio.
- Las medidas a adoptar o procedimientos en caso de incidentes o accidentes con el material radiactivo.

Gammagrafía industrial

Durante las inspecciones se controla el lugar de almacenamiento de los contenedores (inspecciones de depósito) y la práctica propiamente dicha donde se radiografían los tubos o cañerías (inspecciones de campo). A continuación se describen los principales aspectos verificados durante las inspecciones de los depósitos:

- Correcta señalización del depósito.
- Medición de las tasas de dosis en las inmediaciones del mismo.

- Mediciones de tasas de dosis en la superficie exterior de los contenedores.
- Inspección del estado de conservación del contenedor verificando su identificación, existencia de la chapa identificatoria de la fuente que se aloja en su interior, verificación del modelo de la fuente.
- Accionamiento de la llave de cierre del contenedor.
- Inspección del estado de los telemandos, tubos guía y demás accesorios.
- Verificación del instrumental de radioprotección.
- Estado del libro de movimiento de fuentes y equipos.

En las inspecciones de campo se efectúan algunos de los controles mencionados anteriormente y además se realiza:

- Verificación del instrumental de radioprotección.
- Verificación de la señalización de la zona de trabajo.
- Monitoreo de los vallados.

La frecuencia recomendable de inspección, teniendo en cuenta que los equipos poseen fuentes radiactivas de considerable actividad y que en su mayoría son móviles, es anual.

Medidores industriales

Las inspecciones a este tipo de equipamiento se realizan tanto a los medidores instalados funcionando como a los almacenados en depósitos de cada empresa. Durante la inspección se verifican principalmente los siguientes aspectos:

- Identificación del cabezal del medidor instalado.
- Señalización de la zona y tasas de dosis en contacto.
- Inventario radiactivo.

Con relación a los medidores almacenados se verifica que la empresa disponga de un depósito exclusivo para esta finalidad. El lugar debe permanecer normalmente cerrado con llave, indicando que en su interior hay material radiactivo y el nombre de las personas responsables, mediante carteles o símbolos.

Uso de radioisótopos en la industria petrolera

Durante las inspecciones se verifican principalmente:

- El inventario radiactivo y la integridad de las fuentes.
- Las condiciones de los depósitos de las fuentes radiactivas y de los blindajes para su transporte.
- Las tasas de exposición en las áreas de trabajo.
- Los registros de dosimetría individual.

Licenciamiento y control de reactores nucleares

Las tareas cumplidas en el año 2011 se enmarcan principalmente en la decisión tomada por el Gobierno Nacional de completar y poner en marcha la Central Nuclear Atucha II (CNA II), lo que hizo necesario continuar con el proceso de licenciamiento, consistente en la evaluación de la implementación de mejoras al diseño, y fiscalización de las actividades de montaje y prueba de componentes.

Otras tareas cumplidas consistieron en inspecciones y evaluaciones de seguridad nuclear para las Centrales Nucleares en operación, Central Nuclear Atucha I (CNA I) y Central Nuclear Embalse (CNE). Para la CNE se realizaron también tareas relacionadas con la extensión de su vida útil. Se realizaron asimismo tareas relacionadas con el licenciamiento del prototipo de reactor CAREM (CAREM 25).

Asimismo, se llevó a cabo el control de la operación de los reactores de investigación y conjuntos críticos, y se comenzó la planificación para el licenciamiento del reactor RA-10.

Como aprovechamiento de la experiencia operativa surgida del accidente ocurrido en la central nuclear de Fukushima, la ARN emitió un requerimiento regulatorio con el objetivo de evaluar la capacidad de las centrales en operación y de la CNA II ante la ocurrencia de eventos extremos como sismos y analizar posibles mejoras a la instalación tendientes a cumplir con las funciones de seguridad.

Central Nuclear Atucha I (CNA I)

Durante el año 2011, la CNA I operó de acuerdo a lo establecido en la Licencia de Operación, lo que fue verificado por esta ARN mediante las evaluaciones e inspecciones necesarias. Entre las actividades regulatorias más importantes se debe destacar el control efectuado durante la ejecución de las tareas correspondientes a la parada programada y durante las cinco salidas de servicio adicionales que se registraron por necesidades operativas.

Entre las modificaciones a la instalación que habitualmente se implementan, se están desarrollando dos de gran envergadura: un nuevo sistema eléctrico de emergencia y el almacenamiento en seco de elementos combustibles gastados.

Con relación a la primera de ellas, se continuó con las tareas de evaluación e inspección, y con relación a la segunda se inició la evaluación de la misma.

De acuerdo a lo establecido en la Licencia de Operación de la CNA I, NA-SA inició la presentación de los informes relacionados con la Revisión Periódica de Seguridad que debe realizar para poder solicitar la renovación de la mencionada licencia. Al respecto, esta ARN inició la evaluación de dichos informes.

Central Nuclear Embalse (CNE)

Durante el año 2011, la CNE operó de acuerdo a lo establecido en la Licencia de Operación, lo que fue verificado por esta ARN mediante las evaluaciones e inspecciones necesarias. Entre las tareas regulatorias más importantes se debe destacar el control efectuado durante las dos salidas de servicio que se registraron por necesidades operativas, y las evaluaciones realizadas relacionadas con la aptitud para el servicio de los sistemas y componentes relevantes para la seguridad de la instalación.

La ARN continuó con los trabajos de evaluación y fiscalización de las tareas que se realizaron en el marco de la fase II del Proyecto de Extensión de Vida de la CNE. Dichas tareas estuvieron relacionadas con la preparación para llevar a cabo las tareas durante el reacondicionamiento de la central, tales como: el retubado del reactor, el remplazo de los generadores de vapor, el remplazo de computadoras de control, la calificación ambiental de equipos, las evaluaciones de envejecimiento, etc.

Central Nuclear Atucha II (CNA II)

Licenciamiento

Durante el año 2011 la ARN realizó las actividades de evaluación y fiscalización necesarias para continuar con el proceso de licenciamiento de la central.

- Se evaluó la documentación mandatoria de la central, en particular, el Informe Final de Seguridad.

Se evaluaron las mejoras al diseño, en particular en relación al sistema de parada rápida del reactor (sistema de inyección de boro). Las tareas efectuadas fueron las siguientes:

- Evaluación de confiabilidad del método de medición empleado para cuantificar el tiempo de inyección.
- Verificación de cumplimiento de los criterios de aceptación de cada actividad.
- Evaluación de la respuesta dinámica del sistema de prueba, calculada mediante el Método de Elementos Finitos, utilizando datos de entrada brindados por el departamento de Licenciamiento de NA-SA.
- Revisión de documentación de diseño original del Sistema.
- Fiscalización de ensayos no destructivos.
- Evaluación de informes presentados por NA-SA a fin de asegurar la integridad estructural de los componentes.

Además se realizaron otras evaluaciones de seguridad, tales como:

- Análisis Probabilístico de Seguridad Niveles 1, 2 y 3.

- Se evaluó el concepto de rotura adoptado en el diseño de la CNA II y se realizó la verificación independiente de la aplicabilidad del criterio de exclusión de rotura en la línea de refrigeración principal y del presurizador. Se consolidó la metodología de aplicación del mencionado concepto incluyendo la de verificación del comportamiento de “pérdida antes de fractura” considerándola la base para su aplicación en otras líneas.
- Se evaluó la justificación de los objetivos de protección de cañerías relevantes a la seguridad ante fuerzas de reacción y/o de impacto de chorro que puedan producir fallas consecuentes, lo cual llevó a cambios de ingeniería de soportación y de ruteo de líneas.

Las tareas de fiscalización del montaje estuvieron focalizadas según el área en los siguientes aspectos:

- Instrumentación y Control:

Inspección del montaje de la I&C del mock up del sistema de inyección de boro (galpón 10 en CNA II).

Inspecciones de montaje de la instrumentación de campo; involucrando el montaje de sensores, transductores, bastidores y cables.

- Eléctrica:

Inspecciones de montaje; ello implica la realización de verificaciones en campo sobre el montaje de componentes de sistemas de seguridad, como ejemplo se puede citar penetraciones eléctricas entre recintos, instalación de sistema de suministro de corriente de emergencia, tableros del sistema eléctrico de emergencia, cableado de potencia de componentes de seguridad, sistema de protección contra descargas atmosféricas.

- Mecánica:

Inspección de soportes, tratamiento de los puntos abiertos bloqueantes para la puesta en marcha.

En relación a las tareas de fiscalización de la Puesta en Marcha de la central:

- Se continuó con la evaluación de la documentación para planificar y realizar las inspecciones de fiscalización de las pruebas de sistemas de interés regulatorio.
- Se realizaron inspecciones en la obra para verificar el cumplimiento de los procedimientos de puesta en marcha de componentes y sistemas de seguridad.
- Se inició con personal experto de la ARN y asesores externos la evaluación de las actividades de puesta en marcha nuclear con el fin de realizar su aprobación antes de emitir la correspondiente licencia de puesta en marcha.

Reactor Prototipo CAREM 25

Licenciamiento

El CAREM 25 es un reactor innovador de desarrollo argentino y que fue declarado de Interés Nacional por Decreto N° 1.107 del 24 de agosto de 2006 y por la Ley N° 26.566 del 25 de noviembre de 2009.

Durante el año 2011 se inició la evaluación de la documentación remitida por CNEA en el marco del esquema de licenciamiento para el otorgamiento de la Autorización para la utilización del sitio e inicio de la construcción.

Esta documentación incluye: Impacto radiológico al medio ambiente, Gestión de residuos radiactivos prevista, Programa de garantía de calidad, Informe de Diseño y Viabilidad de los planes de emergencia.

Proyecto RA 10

Licenciamiento

La CNEA continúa desarrollando estudios y evaluaciones a fin de construir este reactor con fines de investigación y de producción de radioisótopos.

La ARN no ha efectuado actividades relevantes relacionadas con este proyecto durante el año 2011, a excepción de evaluaciones preliminares sobre tecnologías propuestas para su utilización en el reactor.

Sistema de emergencias

Con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en la Ley N° 24.804 y su decreto reglamentario, la ARN ha creado el Sistema de Intervención en Emergencias Nucleares (SIEN), que complementa al preexistente Sistema de Intervención en Emergencias Radiológicas (SIER).

En el cuadro siguiente se resumen las características principales de los sistemas de intervención de la ARN:

Sistema	Objetivo
SIEN Sistema de Intervención en Emergencias Nucleares	Emergencias originadas por accidentes en centrales nucleares con consecuencias en el exterior de la instalación. Interviene en las etapas de preparación, entrenamiento e intervención para emergencias. Sistema de enlace con la Dirección Nacional de Protección Civil.
SIER Sistema de Intervención en Emergencias Radiológicas	Emergencias radiológicas en instalaciones y prácticas menores o que involucren a la población. Emergencias radiológicas no previstas en áreas públicas. Asesoramiento a autoridades públicas y usuarios.

La ARN, a través del SIEN, convoca a la Dirección Nacional de Protección Civil, en base al Plan Nacional de Emergencias Radiológicas y Nucleares en la segunda fase de una emergencia nuclear. En caso de accidente de origen nuclear o radiológico de gran magnitud, la ARN debe comunicar la situación y mantener informadas a las instancias gubernamentales que correspondan como así también a organismos internacionales o países extranjeros afectados. En el Centro de Control de Emergencias de la ARN actúan Grupos de Evaluación, de Comunicación, de Difusión y de Radiopatología.

La organización de la respuesta médica en casos de accidentes con radiación, contempla tres niveles de acción:

- El Nivel 1, conformado por los servicios médicos de las instalaciones relevantes.
- El Nivel 2, conformado por los hospitales generales regionales con influencia en la zona de las instalaciones relevantes.
- El Nivel 3, conformado por Centros de referencia de alta complejidad. Para dicho nivel se han firmado e implementado convenios con el Hospital de Quemados y con el Hospital Naval "Pedro Mallo".

En todos los niveles, la ARN trabaja en la conformación de grupos de profesionales con conocimiento sobre los efectos de las radiaciones ionizantes en el hombre y las técnicas de evaluación y tratamiento de personas sobreexpuestas.

Preparación para la emergencia

En el marco de cumplimiento de la Ley de la Actividad Nuclear, la ARN tiene la responsabilidad de preparar a la población y a las organizaciones e instituciones identificadas para participar durante la respuesta a una emergencia nuclear o radiológica. En este sentido, durante el año 2011, se realizaron numerosas jornadas de capacitación de respuestas en emergencias radiológicas y nucleares:

Simulacro Central Nuclear Atucha I

Se desarrolló el Ejercicio de Aplicación N° 30 del Plan de Emergencia de la Central Nuclear Atucha I (Simulacro CNA I 2011) de acuerdo a lo establecido en la Ley Nacional de la Actividad Nuclear (N° 24.804), en su Decreto Reglamentario (N° 1390/98) y en la Convención Internacional sobre Seguridad Nuclear (aprobada por Ley N° 24776). El simulacro se desarrolló en las localidades de Lima y Zárate, Provincia de Buenos Aires, el día 10 de noviembre de 2011.

En este marco, la ARN debe aprobar los planes de contingencia para el caso de accidentes nucleares. Estos planes involucran a la central, a la población de los alrededores de la central nuclear y a las organizaciones de respuesta, siendo la ARN la responsable de conducir y coordinar las acciones durante la respuesta.

El Simulacro CNA I 2011 incluyó, como elemento relevante, la participación de los pobladores en los alrededores de la CNA I aplicando las acciones de protección correspondientes. En el Simulacro CNA I 2011 participaron alrededor de 30 instituciones diferentes y se acreditaron en el orden de 250 personas entre observadores externos y periodistas. En los distintos escenarios intervinieron más de 300 personas, en calidad de actores y facilitadores-evaluadores. Respecto de la participación del público, aproximadamente 1000 alumnos de las distintas escuelas involucradas practicaron la evacuación temprana o la puesta a cubierto y profilaxis con yodo estable. Por otra parte, en la primera fase del reparto de pastillas de yodo estable, estas fueron recibidas en mano por más del 90% de la población de Lima, que es de más de 12.000 habitantes. Asimismo, considerando los llamados realizados a las radios FM locales y otros medios, puede inferirse una gran participación y un gran impacto en los pobladores de Lima.



Escenario del
COEM en el
Simulacro de la
Central Nuclear
Atucha I

Las principales organizaciones involucradas en la respuesta ante emergencias nucleares que participaron del simulacro en forma activa fueron: Defensa Civil Municipal de Zárate, Central Nuclear Atucha I, Escuadrón Atucha de la Gendarmería Nacional, Policía de la Provincia de Buenos Aires, Bomberos Voluntarios de Lima y Zárate, Compañía QBN del Batallón de Ingenieros 601 y Escuela Técnica Superior del Ejército Argentino, Prefectura Naval Argentina, Base Naval Zárate de la Armada Argentina, medios locales de difusión e instituciones educativas, Defensa Civil Provincial y Nacional y el Servicio Meteorológico Nacional.

El resultado del Simulacro CNA I 2011 fue altamente positivo debido a que se pudo verificar la correcta implementación de las medidas de protección a la población y fue posible extraer oportunidades de mejora para perfeccionar la preparación y respuesta ante emergencias nucleares.

Intervenciones del SIER

El Sistema de Intervención en Emergencias Radiológicas (SIER) fue requerido durante el 2011 en las siguientes oportunidades:

- El día 5 de mayo se recibe un llamado de la responsable del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Pirovano, indicando que luego de la administración de yodo 131 a un paciente para un estudio, el mismo informa tener sensación de náuseas y vómito ante lo cual se le alcanza un balde. El balde se guarda en el cuarto caliente del servicio y, realizadas las mediciones correspondientes por parte del GIP (Grupo de Intervención Primaria) del SIER, se decide dejar en depósito el citado material hasta que transcurra el tiempo necesario por decaimiento radiactivo para eliminarlo como material convencional.
- El día 24 de junio, la Subgerencia Control de Instalaciones Radiactivas Clase II y III de la ARN informó haber recibido del INTA MANFREDI, institución que estaba tramitando la importación de un equipo TROXLER, la copia de una disposición mediante la cual la AFIP-Aduana de Córdoba había procedido a la destrucción de material de rezago entre los que se encontraba el mencionado equipo conteniendo una fuente de americio 241-berilio de 370 MBq (10 mCi). El Grupo de Intervención Primaria intervino realizando mediciones en el predio donde la Aduana de Córdoba procede a la destrucción y enterramiento de los materiales desechados como parte del relleno de un terreno. Las mediciones efectuadas en dicho lugar arrojaron resultado negativo.



Emergencia radiológica en AcerBrag

- El día 18 de octubre el responsable por la seguridad radiológica de la empresa Acerbrag S.A. informa el hallazgo de una fuente radiactiva detectada al pasar un camión con chatarra por el portal de la empresa. El día 20 se concurre a la

empresa y se procede al retiro de una fuente de cesio 137, la que debido a intervenciones anteriores se reconoce como una de las cuatro fuentes radiactivas que son parte integrante de un tanque de fueloil de una barcaza rusa. Se le informa al responsable de la empresa de la posible aparición de alguna otra fuente de este tipo y que se procederá a una investigación sobre los desarmaderos de la zona. La fuente será entregada para su gestión como residuo radiactivo en el Centro Atómico Ezeiza (CAE) de la CNEA.

- El día 24 de octubre el responsable por la seguridad radiológica de la empresa Acerbrag S.A. informa el hallazgo de otra fuente radiactiva detectada al pasar un camión con chatarra por el portal de la empresa. El día 26 se concurre a la empresa y se procede al retiro de la fuente de cesio 137, la que forma parte del grupo de cuatro fuentes descriptas en la intervención anterior. Se reiteran las mismas indicaciones que en la anterior oportunidad. La fuente se gestionó como residuo radiactivo.
- El día 25 de octubre se recibe un aviso del Director de Seguridad de Cancillería quien informa que en dependencias de la Dirección Nacional del Antártico se hallaría un detector de centelleo líquido con una fuente de cesio 137 en su interior y probablemente otros frascos conteniendo también material radiactivo, según el resultado de una auditoría interna realizada hacía pocos días. Ya en el lugar el grupo de intervención verifica la existencia de un detector de centelleo en desuso. Al abrir la tapa superior se detectaron tres fuentes de calibración de carbono 14 e hidrógeno 3 de muy baja actividad. En una tapa lateral del mismo equipo se encontró un contenedor con una fuente de cesio 137 también de muy baja actividad y en el sector droguero se detectó la presencia de 6 frascos plásticos con la leyenda carbono 14 actividad 2 mCi. Todo el material retirado fue gestionado como residuo radiactivo en el CAE.
- El día 4 de noviembre el responsable por la seguridad radiológica de la empresa Acerbrag S.A. informa el hallazgo de una nueva fuente radiactiva detectada al pasar un camión con chatarra por el portal de la empresa. Se le solicita que proceda a apartar la fuente ubicándola en un lugar seguro a la espera de ver si aparece la última de las fuentes faltantes, la cual no fue hallada en las investigaciones llevadas a cabo a tal efecto. El día 15 de noviembre y ante la no aparición de la última fuente se concurre a la empresa y se procede al retiro de la fuente de cesio 137, la que junto a las dos anteriores fueron gestionadas como residuo radiactivo en dependencias de la CNEA en el CAE.

Vigilancia radiológica ocupacional

Dosis ocupacionales

En esta sección se muestran los resultados de la evaluación de las dosis recibidas por los trabajadores de instalaciones relevantes y, en particular, de las centrales nucleares Atucha I y Embalse durante el año 2011. Se presenta el análisis de las distribuciones de dosis individuales y de las dosis colectivas correspondientes.



Las dosis, informadas por las instalaciones, corresponden a mediciones individuales de exposición a la radiación externa realizadas con dosímetros termoluminiscentes; y estimaciones de dosis debidas a contaminación interna, a partir del análisis de muestras de orina y con mediciones realizadas en contador de cuerpo entero. Las dosis menores que el límite de detección (0,01 mSv) fueron consideradas cero.

Las Figuras 1 y 2 muestran la contribución de las centrales nucleares al número total de trabajadores de instalaciones relevantes y a la dosis colectiva anual total. Estas contribuciones alcanzan el 82% y el 93%, respectivamente.

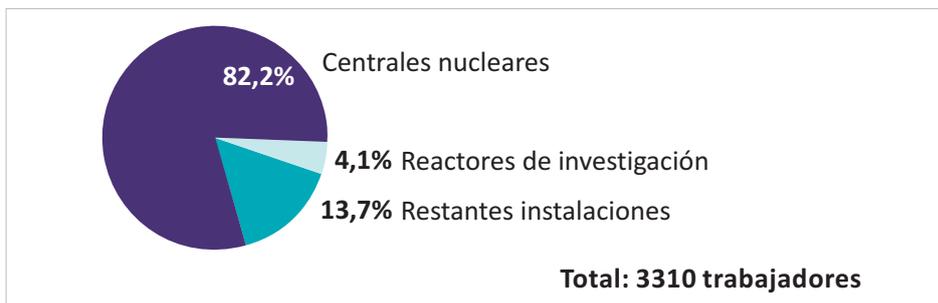


Figura 1.
Distribución de trabajadores controlados en instalaciones relevantes

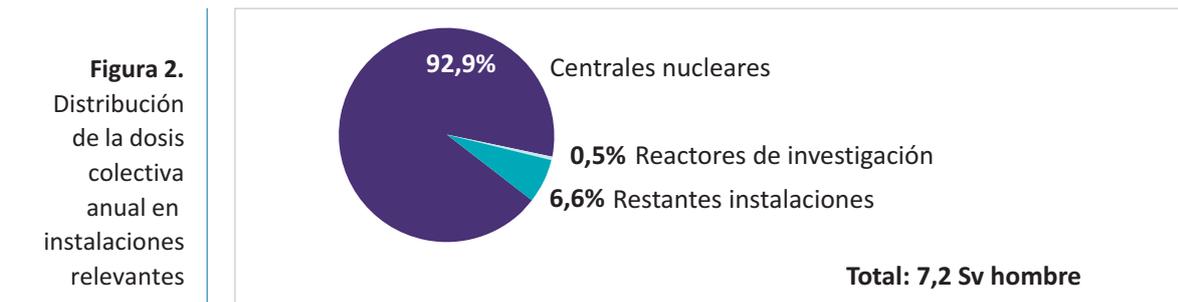


Figura 2.
Distribución de la dosis colectiva anual en instalaciones relevantes

La Figura 3 presenta la distribución de dosis individuales recibidas por los trabajadores de la central nuclear Atucha I durante 2011. En la misma puede observarse que todos los trabajadores recibieron una dosis individual menor que 20 mSv, y el 50% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 1 mSv.

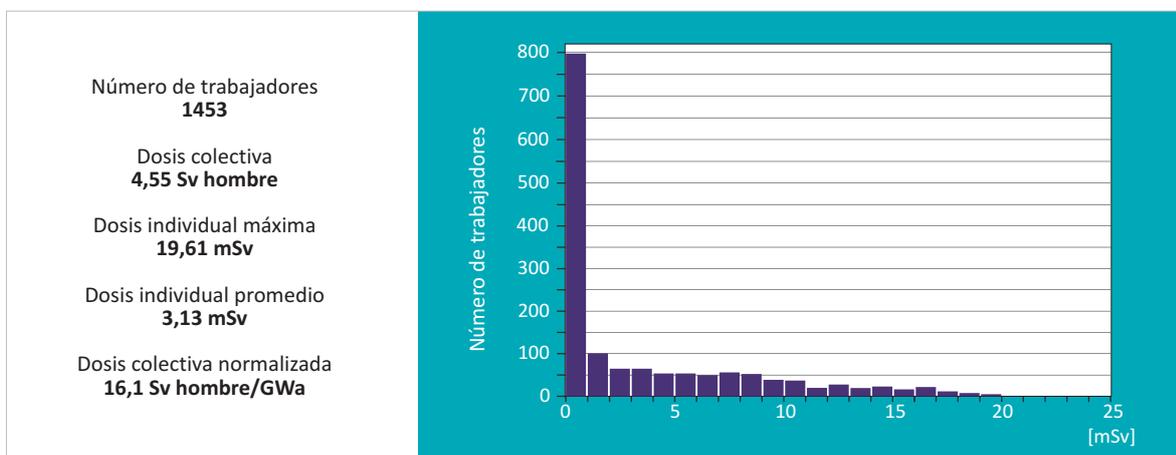


Figura 3. Central Nuclear Atucha I - Distribución de dosis individuales

Durante 2011 la CNA I efectuó una parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo de 7 semanas de duración. En el desarrollo de las tareas de la parada se recibió el 73% de la dosis colectiva anual total. Las tareas que más contribuyeron a esa dosis colectiva fueron las inspecciones en servicio (ISI) y la intervención en los generadores de vapor.

En la Figura 4 se presenta la distribución de dosis individuales de los trabajadores de la CNE correspondiente a 2011. De la misma surge que ningún trabajador recibió una dosis individual anual superior a 13 mSv. El 50% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 1 mSv.

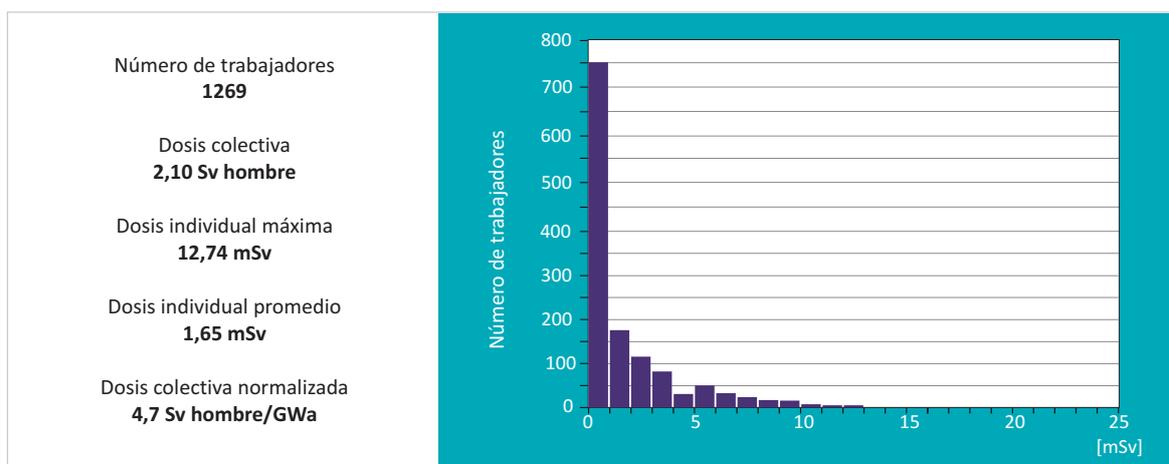


Figura 4. Central Nuclear Embalse - Distribución de dosis individuales

La CNE efectuó durante 2011 una parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo de aproximadamente 7 semanas de duración. En el desarrollo de las tareas de la parada programada se recibió el 86% de la dosis colectiva anual total, siendo las inspecciones de los tubos de los generadores de vapor las tareas que más contribuyeron a esa dosis colectiva.

Con respecto a las dosis individuales acumuladas en el quinquenio (2007/2011), contabilizando las dosis recibidas en todas las instalaciones, todos los trabajadores recibieron menos de 20 mSv promedio anual.

En la tabla siguiente se presentan los parámetros correspondientes a las dosis colectivas y a las dosis colectivas normalizadas.

	Dosis colectiva Sv hombre	Dosis colectiva normalizada Sv hombre/GWa	Dosis colectiva debida a tritio %	Energía bruta generada GWa
Central Nuclear Atucha I	4,6	16,1	12	0,283
Central Nuclear Embalse	2,1	4,7	35	0,444

Los parámetros correspondientes a las distribuciones de dosis individuales para ambas centrales se presentan en el siguiente cuadro.

	Dosis promedio mSv	Dosis individual máxima mSv	Número de trabajadores
Central Nuclear Atucha I	3,1	19,61	1453
Central Nuclear Embalse	1,7	12,74	1269

Descargas de material radiactivo al ambiente

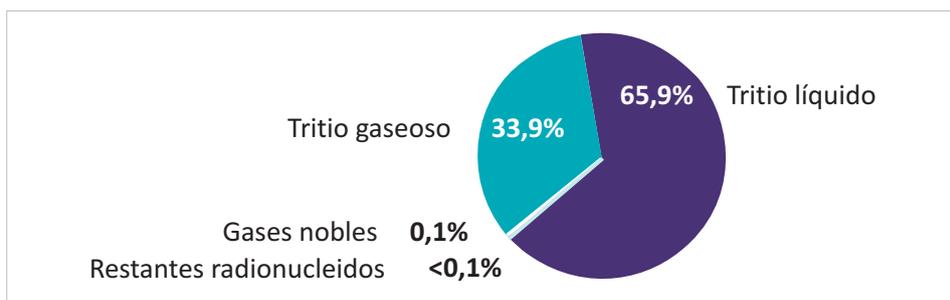
En esta sección se presentan los valores correspondientes a la descarga controlada de efluentes radiactivos al ambiente durante la operación de las centrales nucleares en el año 2011.



Control de descargas al ambiente en una central nuclear

Las Figuras 5 y 6 muestran la composición de las descargas controladas de efluentes radiactivos gaseosos y líquidos al ambiente para la CNA I y CNE, respectivamente. En las mismas se observa la importante contribución del tritio a las descargas totales, de acuerdo a las características de estas centrales nucleares, la cual representó casi el 100% para la CNA I y 83% para la CNE.

Figura 5. CNA I
Composición de las descargas al ambiente



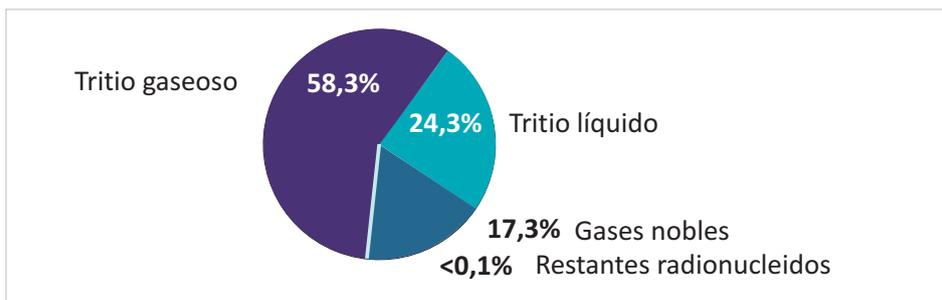


Figura 6. CNE
Composición de las descargas al ambiente

La ARN, adoptando un criterio conservativo, ha fijado para las restricciones anuales de descarga de efluentes radiactivos al ambiente, valores que corresponden a una dosis en el grupo crítico menor que la restricción de dosis establecida para diseño en la normativa argentina, cuyo valor es 0,3 mSv.

Las Figuras 7 y 8 muestran la fracción de la restricción anual que descargaron al ambiente las centrales nucleares durante 2011, para los distintos radionucleidos.

Figura 7. CNA I
Descargas al ambiente. Porcentaje de la restricción anual

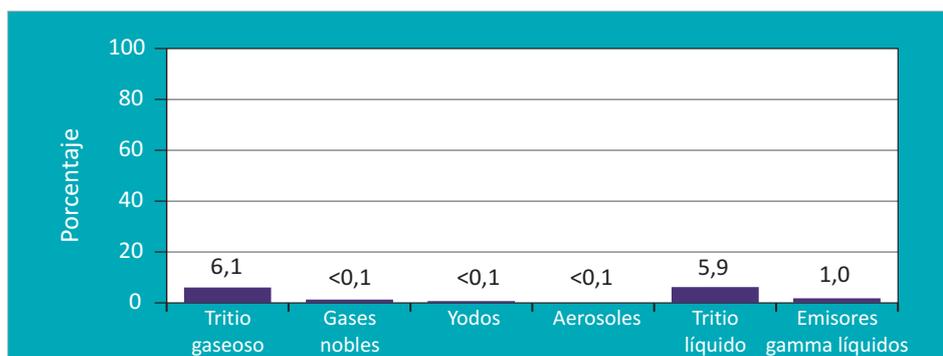
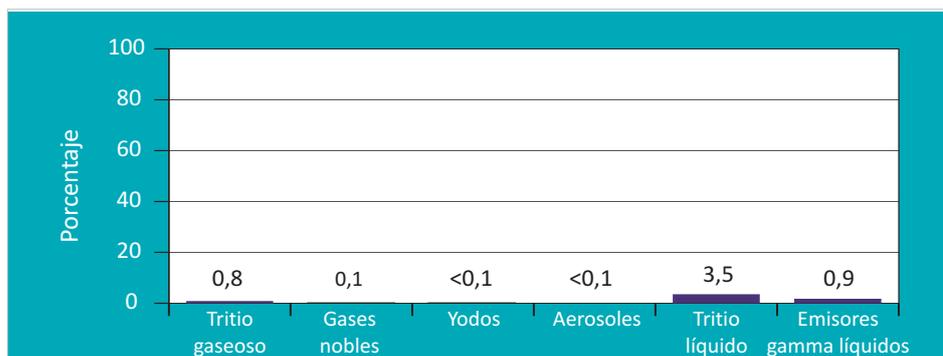


Figura 8. CNE
Descargas al ambiente. Porcentaje de la restricción anual

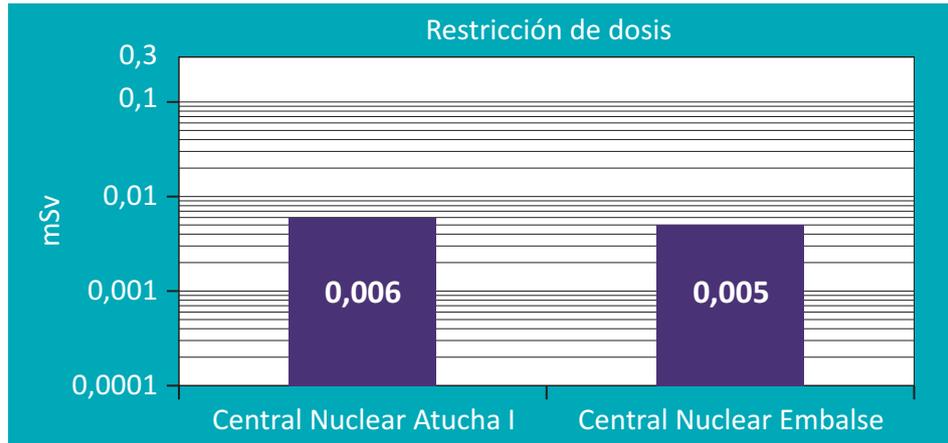


Dosis en la población

Dosis en el grupo crítico

La Figura 9 muestra las dosis promedio individual en los grupos críticos correspondientes a la CNA I y a la CNE. En la misma puede observarse que estas dosis están muy por debajo de la restricción de dosis para diseño, para una instalación en particular fijada en 0,3 mSv. Las dosis representaron a lo sumo el 2% de dicha restricción de dosis.

Figura 9.
Centrales
Nucleares.
Dosis en el
grupo crítico



Las dosis promedio individual en el grupo crítico de cada central nuclear fueron determinadas a partir de las descargas al ambiente, medidas por las instalaciones, y la aplicación de los modelos de transferencia ambiental recomendados a nivel internacional.

Dosis colectiva

La siguiente tabla muestra los valores de dosis colectiva regional -hasta 2000 km-normalizada con la energía generada, para las centrales nucleares Atucha I y Embalse.

	Descargas gaseosas Sv hombre/GWa	Descargas líquidas Sv hombre/GWa	Descargas totales Sv hombre/GWa
Central Nuclear Atucha I	0,31	0,85	1,20
Central Nuclear Embalse	0,02	0,16	0,18

La dosis colectiva global normalizada con la energía generada, debido a las descargas de tritio, resultaron 1,3 Sv hombre y 0,2 Sv hombre por GW año para la CNA I y la CNE, respectivamente.

Vigilancia radiológica ambiental

La Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) realiza el monitoreo radiológico ambiental en los alrededores de las distintas instalaciones radiactivas y nucleares del país. Se efectúan mediciones de concentración de actividad en diferentes matrices ambientales cuyos resultados se comparan con los valores establecidos en recomendaciones y normas nacionales e internacionales, como así también con los valores obtenidos de los modelos ambientales aplicados por la ARN para el control de la protección radiológica de la población. Es de hacer notar que el monitoreo radiológico ambiental se lleva a cabo en forma totalmente independiente del que realizan las instalaciones; y las mediciones de la concentración de radionucleidos en distintas matrices ambientales se efectúan en los laboratorios

que posee la ARN. Adicionalmente, esta tarea permite responder a inquietudes de la opinión pública sobre el tema.



Figura 10. Instalaciones bajo control ambiental

Las instalaciones, alrededor de las cuales la ARN ha efectuado monitorajes radiológicos ambientales durante el año 2011 son: las centrales nucleares Atucha I (Provincia de Buenos Aires) y Embalse (Provincia de Córdoba), el Centro Atómico Ezeiza (Provincia de Buenos Aires), el Centro Atómico Bariloche y el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (ambos en la Provincia de Río Negro), la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio de DIOXITEK y la Regional Centro de la CNEA (ambas en la ciudad de Córdoba), el Complejo minero fabril Sierra Pintada, en San Rafael, y el ex Complejo minero fabril Malargüe (ambos en la Provincia de Men-

doza), los ex Complejos minero fabriles Los Gigantes (Provincia de Córdoba), La Estela (Provincia de San Luis), Tonco (Provincia de Salta), Pichiñán (Provincia de Chubut) y Los Colorados (Provincia de La Rioja); ver Figura 10.

Además, se efectuó el monitoreo radiológico ambiental en áreas no relacionadas con las instalaciones radiactivas y nucleares, con el objeto de determinar la contribución de fuentes radiactivas artificiales (“fallout”: lluvia radiactiva, caída y deposición de partículas radiactivas desde la atmósfera, originadas en explosiones o accidentes nucleares) en las muestras ambientales.

Monitoreo
radiológico
ambiental.
Muestreo de
agua superficial



Asimismo, la ARN lleva a cabo un plan de medición de gas radón en el interior de viviendas de la República Argentina. En la actualidad, este plan de medición está centrado fundamentalmente en las viviendas próximas a los complejos y ex-complejos de la minería de uranio.

Las tablas de resultados obtenidos se confeccionaron con los siguientes criterios: los resultados se presentan para cada matriz ambiental analizada, informándose los resultados por radionucleido analizado y por punto de muestreo.

Dichos resultados se presentan en forma de valores promedio, máximo y mínimo, número de muestras analizadas en el año y el número de resultados cuyo valor fue superior al límite de detección de la técnica utilizada para realizar el análisis. Algunas matrices se muestrean en forma anual, en cuyo caso se presenta únicamente el resultado obtenido.

En el caso de las tablas destinadas a los yacimientos vinculados a la minería del uranio, a la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio / Complejo Fabril Córdoba y al Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, donde los muestreos y análisis se realizan en forma anual, los resultados se informan separados por radionucleido analizado y por

ubicación de los puntos de muestreo con respecto a la instalación monitoreada (en general aguas arriba y aguas abajo). Es así que los resultados se presentan en la forma de valores promedio, máximo y mínimo, número de muestras analizadas aguas arriba o aguas abajo y el número de resultados cuyo valor fue superior al límite de detección de la técnica utilizada para realizar el análisis.

Monitoraje
radiológico
ambiental.
Laboratorio
Mediciones
Radiológicas



Con relación al límite de detección (LD), en las tablas se indica el mayor límite de detección determinado para cada técnica.

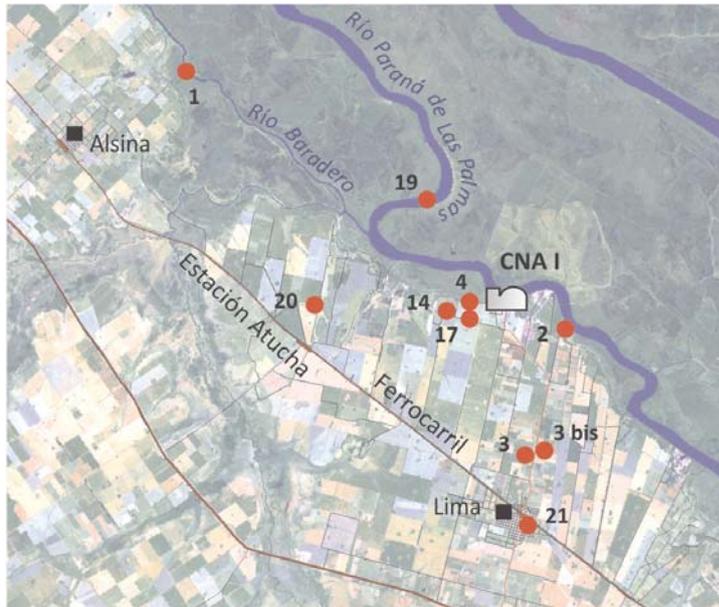
Los valores promedio se calculan cuando se cuenta con al menos dos resultados por encima del límite de detección, en caso contrario se indica que ese valor no es aplicable bajo la sigla "na".

Para el caso de que no haya ningún valor por encima del límite de detección, se indicará que el valor máximo es menor al límite de detección en tanto que la sigla "na" se indicará como valor mínimo ya que no aplica informar dicho valor.

Central Nuclear Atucha I (CNA I)

La Central Nuclear Atucha I está ubicada sobre el río Paraná de las Palmas, a 7 km de la ciudad de Lima, en el partido de Zárate, Provincia de Buenos Aires. En la Figura 11 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo radiológico ambiental en los alrededores de la CNA I.

Se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz ambiental de transferencia de radionucleidos. Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se tomaron y analizaron muestras de los distintos cuerpos de agua, sedimentos y peces. Adicionalmente, se realizó el monitoreo del agua de consumo humano extraída de pozos cercanos a la central.



● Puntos de muestreo



● Puntos de muestreo

Figura 11. Central Nuclear Atucha I (Provincia de Buenos Aires)

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas a la atmósfera, se tomaron y analizaron muestras de aire, suelo y de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales. Adicionalmente, se realizó la medición de tasa de dosis ambiental. También se determinaron los niveles de tritio en muestras de condensado de humedad. Los equipos condensadores están ubicados, uno a 7,4 km de la CNA I y el otro a 1 km en dirección oeste de la CNA I (ver los puntos 3 y 17 en la Figura 11). Ambas estaciones cuentan con equipos que tienen una capacidad de recolección de 5 litros cada 24 horas para 50% de humedad y 20°C de temperatura.

Se tomaron muestras de agua de río, sedimentos en profundidad y de orilla en la margen oeste del río Paraná de las Palmas, a aproximadamente 3 km aguas abajo de la central (ver punto 2 en la Figura 11).

En un punto del río Paraná de las Palmas, ubicado aproximadamente 5,1 km aguas arriba de la central, considerado punto de muestreo blanco o background, se tomaron muestras de agua de río, sedimentos en profundidad y de orilla (ver punto 19 en Figura 11).

La frecuencia de muestreo es mensual para agua de río y semestral para sedimentos de fondo y de orilla.

Las muestras de agua de napa fueron tomadas en una escuela, ubicada a 7,1 km de la CNA I, siendo este punto un punto blanco o de background. Adicionalmente, se tomaron muestras de esta matriz en un sitio ubicado 3 km aguas abajo de la central. Asimismo, se tomaron muestras de agua de consumo humano de la zona.

Sobre las muestras de agua de río, agua de napa y agua de consumo, se realizaron determinaciones de tritio con frecuencia mensual, determinaciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre muestras compuestas (“pools”) trimestrales. La determinación de actividad alfa-beta se realizó con una frecuencia trimestral.

En las mismas zonas donde se tomaron muestras de agua de río, se tomaron también muestras de peces con una frecuencia semestral.

Las muestras de leche fueron recolectadas semanalmente, en zonas de pastoreo ubicadas dentro de un radio de 5 km de la central, determinándose yodo 131 en una muestra mensual, y cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 sobre “pooles” trimestrales.

Con respecto al monitoreaje de alimentos, se seleccionaron los cultivos más próximos a la central y se obtuvieron muestras de algunos productos de quinta. Mensualmente se determinaron los niveles de tritio, y con una frecuencia semestral, sobre “pooles”, se determinaron los niveles de radionucleidos emisores gamma y estroncio 90.

En cuanto a las muestras de aire, se realizó un único muestreo en el año, integrado a lo largo de una semana, en tres puntos de muestreo (CNA 15, 17 y 18) ubicados dentro de un radio de 10 km de la central (ver Figura 11). Estos monitoreos se efectuaron en la modalidad de aerosoles totales “TSP” (Total Suspended Particulate Matter), donde la totalidad de los aerosoles presentes en una muestra de aire es recolectada sobre un filtro de alta eficiencia. Los radionucleidos analizados fueron: cobalto 60, yodo 131, cesio 137 y estroncio 90. Se han medido también los radionucleidos naturales potasio 40 y uranio (mezcla de los isótopos uranio 234, uranio 235 y uranio 238) a fin de registrar los niveles de base de estos radionucleidos, previo a la puesta en marcha de la CNA II.

La determinación de la concentración de cesio 137 y cobalto 60 en muestras correspondientes a leche, vegetales y peces, se realizó por espectrometría gamma mediante detectores de germanio hiperpuro, en condiciones geométricas normalizadas sobre comprimidos de cenizas de las muestras calcinadas. En el caso de las muestras de aire, el análisis de cobalto 60, yodo 131, cesio 137, potasio 40, torio 232 y radio 226 se realizó por la misma técnica, sobre filtros compactados.

El análisis de uranio se realizó por espectrometría alfa, con procesamiento radioquímico previo.

La concentración de estroncio 90 fue determinada por una técnica que incluye la calcinación de la muestra, separación del itrio 90 en equilibrio, y medición por centelleo líquido de la radiación Cerenkov emitida.

La determinación de la concentración de yodo 131 en leche se llevó a cabo utilizando la técnica de medición por espectrometría gamma utilizando un detector de germanio hiperpuro.

En el caso de la determinación actividad alfa-beta en aguas, las muestras fueron concentradas para bajar el límite de detección y medidas en un equipo de centelleo líquido; en el caso de que los resultados de actividad alfa o beta superaron los niveles de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas potables, pu-

blicados en la “Guía para la Calidad del Agua Potable” (Capítulo 9 de la Revisión 4 del año 2011), se analizaron los radionucleidos individuales correspondientes.

Durante el año 2011 se tomaron en total 201 muestras en los diferentes puntos de muestreo, sobre las que se realizaron diversas determinaciones y análisis radioquímicos.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar (*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Particulado en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual
	estroncio 90		
	uranio		
	emisores alfa - beta		
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Leche de vaca de la zona	yodo 131	mensual	mensual
	tritio		
	emisores gamma	semanal	pool trimestral
	estroncio 90		
Suelos	emisores gamma	semestral	semestral
	estroncio 90		
Vegetales y frutas de la zona	tritio	mensual	pool trimestral
	emisores gamma		pool semestral
	estroncio 90		
Agua superficial (de río)	tritio	mensual	mensual
		trimestral	trimestral
	emisores gamma	mensual	pool trimestral
	emisores alfa - beta	trimestral	trimestral
Agua de consumo humano (agua subterránea)	tritio	mensual	mensual
	emisores gamma		pool trimestral
	emisores alfa - beta	trimestral	trimestral
Sedimentos de río (fondo y orilla)	emisores gamma	semestral	semestral
	estroncio 90 (sólo sedimentos de fondo)		
Peces (pesca del río Paraná en zona de influencia de la central)	emisores gamma	semestral	semestral
	estroncio 90		

(*) Emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60.

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Concentración de actividad en aguas del río Paraná					
Aguas arriba de CNA I - (punto CNA 19)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 7,0; cesio 0,03; cobalto 0,02; emisores α 0,05; emisores β 0,08					
Aguas abajo de CNA I - Grupo representativo (punto CNA 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	29,5	na	na	na	0,17
Máximo (Bq/l)	51,9	<LD	<LD	0,50	0,27
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	2	0	0	1	3
LD (Bq/l): tritio 9,0; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores α 0,05; emisores β 0,08					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en sedimentos del río Paraná					
Aguas arriba de CNA I (punto CNA 19)					
	sedimento de orilla		sedimento de fondo		
	cesio 137	cobalto 60	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	1,5	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	<LD	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	1	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,4; estroncio 6,3					
Aguas abajo de CNA I - grupo representativo (punto CNA 2)					
	sedimento de orilla		sedimento de fondo		
	cesio 137	cobalto 60	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,8	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2	2	2
Nº análisis > LD	1	0	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,5; cobalto 0,5; estroncio 3,8					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas de consumo humano (proveniente de aguas subterráneas)					
Napas arriba de CNA I (punto CNA 20)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,28	0,63
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,32	0,67
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	0,21	0,60
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 9,0; cesio 0,03; cobalto 0,02					
Napas abajo de CNA I (punto CNA 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,10	0,26
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,13	0,33
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	<LD	0,20
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	3	4
LD (Bq/l): tritio 9,0; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores α 0,05					
Agua de la ciudad de Lima (punto CNA 21)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	0,16	0,40
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,18	0,51
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	<LD	0,33
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0	3	4
LD (Bq/l): tritio 9,0; cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores α 0,05					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en peces del río Paraná			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,011	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	1	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,010; cobalto 0,01; estroncio 0,07			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Tasa de dosis ambiental CNA I - nGy/h (promedio anual)				
punto CNA 1	punto CNA 4	punto CNA 17	punto CNA 3	punto CNA 3 bis
52,4	56,6	54,1	50,5	48,1

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)					
Vientos arriba de CNA I (punto CNA 24)					
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	potasio 40	uranio natural ^(*)
<LD	<LD	<LD	<LD	70	2,01 (0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 2,3; cobalto 1,2; yodo 2,3; estroncio 7,9					
Vientos abajo de CNA I (punto CNA 17)					
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	potasio 40	uranio natural ^(*)
<LD	<LD	<LD	<LD	60	0,70 (0,000028 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 1,4; cobalto 1,4; yodo 1,4; estroncio 4,5					
Punto de interés público (punto CNA 3)					
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	potasio 40	uranio natural ^(*)
<LD	<LD	<LD	<LD	20	4,02 (0,00016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 1,4; cobalto 0,70; yodo 2,1; estroncio 5,2					

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$ (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en condensados de humedad		
	Punto de interés público (punto CNA 3)	Vientos abajo de CNA I (punto CNA 4)
	tritio	tritio
Promedio (Bq/m^3)	0,3	5,7
Máximo (Bq/m^3)	2,1	25,4
Mínimo (Bq/m^3)	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	46	38
Nº análisis > LD	22	37
	LD (Bq/m^3): 0,2	LD (Bq/m^3): 0,05

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona				
Frutas				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	18,1	na	na	0,07
Máximo (Bq/kg)	23,3	<LD	<LD	0,07
Mínimo (Bq/kg)	13,8	na	na	<LD
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	4	0	0	2
LD (Bq/kg): cesio 0,005; cobalto 0,003				
Verduras de hoja				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	16,7	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	20,4	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	3	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 9,0; cesio 0,01; cobalto 0,02; estroncio 0,11				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



Concentración de actividad en suelos			
Vientos arriba de CNA I (punto CNA 24)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,6; cobalto 0,4; estroncio 2,2			
Grupo representativo de CNA I (punto CNA 14)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,5	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,8	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	1,2	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,5; estroncio 2,2			
Vientos abajo de CNA I (punto CNA 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,6	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,7	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	1,5	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,7; estroncio 2,3			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en leche de la zona (Bq/l)					
Pequeños tambos familiares de la zona					
	tritio	yodo 131	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	9,9	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	8	3	3	3
Nº análisis > LD	1	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 9,0; yodo 0,2; cesio 0,007; cobalto 0,005; estroncio 0,06					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Conclusiones

Los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas indican que se detectó la presencia de tritio en muestras de condensado de humedad, alimentos y en una muestra puntual de agua de río. Cabe destacar que los valores son insignificantes desde el punto de vista dosimétrico y son coherentes con los que se obtienen a través de modelos de dispersión en el ambiente.

En el caso de las muestras de agua, cabe señalar que todos los resultados analizados de actividad alfa-beta resultaron ser menores a los valores de actividad alfa-beta establecidos por la OMS (0,5 y 1,0 Bq/l, respectivamente) por lo tanto no fue necesario realizar análisis adicionales de radionucleidos específicos.

Se ha detectado la presencia de trazas de estroncio 90 en algunas muestras de vegetales siendo los valores medidos compatibles con los niveles de fallout ambiental reportados por distintos países.

Asimismo, las trazas de cesio 137 detectadas en algunas muestras de sedimentos y suelos son consistentes con los valores reportados por la bibliografía internacional y son atribuibles a las explosiones nucleares realizadas en el pasado (fallout).

Los niveles de radionucleidos naturales medidos en las muestras de aire son consistentes con los resultados reportados por la bibliografía internacional para sitios no relacionados con instalaciones nucleares publicados por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR 2000-2008).

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 52,4 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

Con respecto a las mediciones de la concentración de tritio en las muestras de agua, la ARN ha verificado que con estos resultados se cumplen los límites y restricciones de dosis para las personas del público establecidos en la normativa de este organismo, "Norma Básica de Seguridad Radiológica" Norma AR 10.1.1., las que son consistentes con las recomendaciones efectuadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP sus siglas en inglés) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Además de cumplirse con la normativa nacional, al analizar los resultados de las concentraciones de los radionucleidos medidos en agua potable se puede afirmar que no se superan los valores de referencia recomendados por la OMS para la ingesta de agua de potable.

Del análisis de todos los resultados de las mediciones de concentración de actividad en las distintas muestras analizadas correspondientes al monitoreo ambiental en los alrededores de la CNA I, se concluye que estos se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, y son inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

Central Nuclear Embalse (CNE)

La Central Nuclear Embalse está ubicada sobre la margen este del embalse Río Tercero, localizado en el centro-oeste de la Provincia de Córdoba.

En la Figura 12 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo radiológico ambiental en los alrededores de la CNE.

Como se mencionó en el caso de la CNA I, en los alrededores de la CNE se tomaron muestras representativas de los diferentes compartimentos de la matriz ambiental de transferencia de radionucleidos.



Figura 12. Alrededores de la Central Nuclear Embalse (Provincia de Córdoba)

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, se tomaron y analizaron muestras de los distintos cuerpos de agua, sedimentos y peces. Adicionalmente, se realizó el monitoreo del agua de consumo humano extraída de la zona céntrica de la ciudad de Embalse.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas a la atmósfera, se tomaron y analizaron muestras de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales. También se determinaron los niveles de tritio en muestras de condensado de humedad.

Adicionalmente se realizó la medición de tasa de dosis ambiental.

Las muestras de leche fueron obtenidas de tambos ubicados dentro de un radio de 8 km de la central nuclear (ver puntos 21 y 23 en la Figura 12), en forma semanal, determinándose yodo 131 en forma mensual, y cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90, trimestralmente.

Las muestras de agua de consumo humano se tomaron con una frecuencia de muestreo mensual.

Las muestras de agua de napa fueron tomadas en una finca ubicada aproximadamente a 2 km de la CNE (Figura 12, punto 23).

Mensualmente se ha determinado la concentración de tritio en muestras de agua de lago, agua de consumo humano y agua de napa, y trimestralmente se determinaron las concentraciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 en pools trimestrales.

Las muestras de condensado de humedad fueron colectadas en dos estaciones de monitoreo. Una de las estaciones se encuentra ubicada a una distancia de 1500 m

en la dirección predominante de los vientos; y la otra a 800 m en dirección SSO de la chimenea de descargas gaseosas (ver los puntos 28 y 29 en Figura 12). Ambas estaciones son de características similares a las descriptas para la CNA I.

Con respecto al monitoreo de alimentos, se obtuvieron muestras de vegetales en quintas de la zona. Las muestras fueron recolectadas con una frecuencia mensual, expresándose los resultados en forma semestral.

Las muestras de agua del lago y sedimentos fueron tomadas mensualmente en el punto correspondiente a la Unidad Turística Embalse (zona hoteles sociales), y en el balneario - camping de Villa Rumipal (ver los puntos 8 y 2 en Figura 12).

Adicionalmente, con frecuencia anual, se realiza un muestreo de aguas y sedimentos de diferentes puntos del lago, incluyendo sus afluentes principales, y del Río Tercero.

Las muestras de peces fueron tomadas del lago con una frecuencia mensual, expresándose los resultados como promedios semestrales.

La determinación de la concentración de cesio 137 y cobalto 60 en muestras correspondientes a alimentos, se realizó por espectrometría gamma, en condiciones geométricas normalizadas, sobre comprimidos de cenizas de las muestras semestrales calcinadas.

Las concentraciones de estroncio 90 y de yodo 131 fueron determinadas de la misma forma que se describió en el caso de la CNA I.

Durante el año 2011 se recolectaron en total 208 muestras. Sobre las mismas se realizaron diversos tipos de análisis y determinaciones radioquímicas. Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar ^(*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Particulado en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual
	estroncio 90		
	Emisores alfa-beta		
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Leche de vaca de la zona	yodo 131	mensual	mensual
	tritio		
	emisores gamma	semanal	pool trimestral
	estroncio 90		
Vegetales y frutas de la zona	tritio	mensual	pool trimestral
	emisores gamma		pool semestral
	estroncio 90		
Suelos	emisores gamma	semestral	semestral
	estroncio 90		
Agua superficial (lago/río)	tritio	mensual	mensual
		anual	anual
	emisores gamma	mensual	pool trimestral
		anual	anual
	emisores alfa-beta	trimestral	trimestral
		anual	anual
Agua de consumo humano	tritio	mensual	mensual
		anual	anual
	emisores gamma	mensual	pool trimestral
		anual	anual
	emisores alfa-beta	trimestral	trimestral
		anual	anual
Agua subterránea	tritio	mensual	mensual
	emisores gamma	trimestral	pool trimestral
	emisores alfa-beta	trimestral	trimestral
Sedimentos	emisores gamma	semestral	semestral
		anual	anual
	estroncio 90	semestral	semestral
		anual	anual
Peces (pesca del embalse del río Tercero)	emisores gamma	semestral	semestral
	estroncio 90		

Emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60.

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Concentración de actividad en aguas superficiales					
Embalse Río Tercero (punto CNE 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	300	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	382	<LD	<LD	0,51	<LD
Mínimo (Bq/l)	145	na	na	<LD	na
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	1	0
LD (Bq/l): cesio 0,03; cobalto 0,02; emisores α 0,06; emisores β 0,10					
Embalse Río Tercero (punto CNE 9)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	290	na	na	na	0,16
Máximo (Bq/l)	380	<LD	<LD	<LD	0,16
Mínimo (Bq/l)	162	na	na	na	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	2
LD (Bq/l): cesio 0,03; cobalto 0,02; emisores α 0,06; emisores β 0,09					
Embalse Río Tercero (punto CNE 3)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Muestra anual (Bq/l)	318	<LD	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores α 0,05; emisores β 0,08					
Río Santa Rosa - aguas arriba de CNE (punto CNE 1)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,10
LD (Bq/l): tritio 6; cesio 0,1; cobalto 0,1; emisores α 0,05					
Río La Cruz - aguas arriba de CNE (punto CNE 12)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,13
LD (Bq/l): tritio 6; cesio 0,3; cobalto 0,2; emisores α 0,05					
Río Quillín - aguas arriba de CNE (punto CNE 35)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/l): tritio 6; cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores α 0,05; emisores β 0,08					
Arroyo Las Vacas - aguas abajo de CNE (punto CNE 4)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Muestra anual (Bq/l)	334	<LD	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores α 0,05; emisores β 0,08					
Embalse Piedras Moras - aguas abajo de CNE (punto CNE 17)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Muestra anual (Bq/l)	270	<LD	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/l): cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores α 0,05; emisores β 0,08					
Balneario río Tercero - aguas abajo de CNE (punto CNE 18)					
	tritio				
Muestra anual (Bq/l)	259				
Río Carcarañá - aguas abajo de CNE (punto CNE 20)					
	tritio				
Muestra anual (Bq/l)	49				

LD = mayor límite de detección determinado



Concentración de actividad en sedimentos de orilla			
Embalse Río Tercero (punto CNE 2)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,5; estroncio 3,7			
Embalse Río Tercero (punto CNE 9)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,5	na	na
Máximo (Bq/kg)	2,1	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	0,8	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,7; estroncio 4,8			
Embalse Río Tercero (punto CNE 3)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,6; cobalto 0,5; estroncio 2,4			
Río Santa Rosa - aguas arriba de CNE (punto CNE 1)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	2,4	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,4; estroncio 1,3			
Río La Cruz - aguas arriba de CNE (punto CNE 12)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	1,3	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 1,3			
Río Quillín - aguas arriba de CNE (punto CNE 35)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	2,4	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cobalto 0,5; estroncio 4,6			
Arroyo Las Vacas - aguas abajo de CNE (punto CNE 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,3; estroncio 1,3			
Embalse Piedras Moras - aguas abajo de CNE (punto CNE 17)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,3; estroncio 1,3			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas subterráneas					
Agua de napa (punto CNE 2)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	59	na	na	0,23	0,41
Máximo (Bq/l)	92	<LD	<LD	0,35	0,46
Mínimo (Bq/l)	34	na	na	0,16	0,25
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	4	4
LD (Bq/l): cesio 0,03; cobalto 0,02					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas de consumo humano					
Ciudad de Embalse Río Tercero (punto CNE 7)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	272	na	na	na	0,18
Máximo (Bq/l)	353	<LD	<LD	0,07	0,25
Mínimo (Bq/l)	176	na	na	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	1	2
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; emisores α 0,06; emisores β 0,09					
Ciudad de La Cruz (punto CNE 13)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	0,10	0,21
LD (Bq/l): tritio 6; cesio 0,1; cobalto 0,1					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en peces del embalse río Tercero			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	0,026	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,03	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	0,021	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,01; estroncio 0,07			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)					
Punto 23	Punto 29	Punto TA	Punto 34	Punto 2	Punto TB
64,4	59,4	71,4	67,6	95,5	67,6

Concentración de actividad en condensados de humedad		
	Vientos abajo de CNE (punto CNE 28)	Grupo representativo (punto CNE 29)
	tritio	tritio
Promedio (Bq/m ³)	1,5	1,3
Máximo (Bq/m ³)	4,6	3,1
Mínimo (Bq/m ³)	0,3	0,3
Nº muestras analizadas	37	33
Nº análisis > LD	37	33

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire (µBq/m ³)							
Vientos abajo de CNE (punto CNE 28)							
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	radio 226	torio 232	potasio 40	uranio natural (*)
<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,05 (0,000042 µg/m ³)
LD (µBq/m ³): cesio 0,5; cobalto 0,5; yodo 0,99; estroncio 9,9; radón 3; torio 3; potasio 1							
Grupo representativo (punto CNE 29)							
cesio 137	cobalto 60	yodo 131	estroncio 90	radio 226	torio 232	potasio 40	uranio natural (*)
<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,63 (0,000065 µg/m ³)
LD (µBq/m ³): cesio 0,6; cobalto 0,6; yodo 1,12; estroncio 4,25; radón 3; torio 3; potasio 1							

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 µBq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en suelos			
Grupo representativo (punto CNE 29)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	3,9	na	na
Máximo (Bq/kg)	5,3	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	2,4	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 3,1			
Vientos abajo de CNE (punto CNE 34)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,5	na	na
Máximo (Bq/kg)	2	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	0,9	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,6; estroncio 2,2			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en leche de la zona					
Pequeños tambos familiares de la zona					
	tritio	yodo 131	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	19	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	19	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	12	4	4	4
Nº análisis > LD	2	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 9; yodo 0,2; cesio 0,008; cobalto 0,008; estroncio 0,06					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona (pequeñas quintas familiares de la zona)				
Frutas				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	38,1	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	48,8	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	3	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 9; cesio 0,01; cobalto 0,009; estroncio 0,05				
Verduras de hoja				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	15,6	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	24,7	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	2	2	2
Nº análisis > LD	3	0	0	0
LD (Bq/kg): tritio 9; cesio 0,03; cobalto 0,02; estroncio 0,19				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Conclusiones

Los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas, indican que se detectó la presencia de tritio en muestras de condensado de humedad, en muestras de agua de lago, agua de consumo humano y alimentos. Por otro lado, se detectaron trazas de cesio 137 en muestras puntuales de peces del embalse Río Tercero y en muestras de sedimentos.

La presencia de tritio en el agua del lago, en el agua de consumo humano y en alimentos, se debe a la descarga controlada de efluentes generados en los procesos de purificación y desgasado de agua del circuito primario de refrigeración del reactor. Cabe aclarar que el nivel de concentración de tritio en el agua del lago está relacionado con las variaciones estacionales del nivel de agua del embalse.

La presencia de trazas de cesio 137 en algunas muestras de peces y sedimentos es atribuible al fallout ambiental. Cabe señalar que en éste último caso, los nive-

les observados son semejantes para muestras analizadas tanto aguas arriba como aguas debajo de la instalación.

Con respecto a las mediciones de la concentración de tritio en las muestras de agua, la ARN ha verificado que con estos resultados se cumplen los límites y restricciones de dosis para las personas del público establecidos en la normativa de este organismo, “Norma Básica de Seguridad Radiológica” Norma AR 10.1.1., las que son consistentes con las recomendaciones efectuadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP sus siglas en inglés) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Además de cumplirse con la normativa nacional, al analizar los resultados de las concentraciones de los radionucleidos medidos en agua potable se puede afirmar que no se superan los valores de referencia recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la ingesta de agua potable.

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 71 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares

Del análisis de los resultados de las mediciones de concentración de actividad en las distintas muestras analizadas correspondientes al monitoreo radiológico ambiental en los alrededores de la CNE se verifica que los valores se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, siendo inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

Centro Atómico Ezeiza (CAE)

El Centro Atómico Ezeiza (CAE), está ubicado en la localidad de Ezeiza, Provincia de Buenos Aires. Las principales instalaciones que componen este centro son: el Reactor RA 3 para Producción de Radioisótopos e Investigación; la Planta de Producción de Radioisótopos para uso médico e industrial; la Fábrica de Fuentes Selladas de Cobalto 60; la Planta de Producción de Molibdeno 99 por Fisión; el Área Gestión Ezeiza; la Fábrica de Elementos Combustibles para Centrales Nucleares y Reactores de Investigación (CONUAR S.A./FAE); la Planta de Irradiación Semi Industrial (PISI) y el Ciclotrón de Producción.

La Figura 13 muestra la ubicación de los puntos en los que se realiza el muestreo correspondiente al control radiológico ambiental rutinario del CAE.

Como se mencionó en el caso de las centrales nucleares, se tomaron muestras de las matrices ambientales relevantes, en puntos ubicados en los alrededores del CAE.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas autorizadas, se tomaron y analizaron muestras de aire, con una frecuencia semanal, a fin de determinar la presencia de aerosoles radiactivos. Para determinar el depósito de material radiactivo, se tomaron muestras de agua de lluvia que fueron recolectadas y analiza-

das con una frecuencia trimestral; y muestras de pasto, recolectadas y analizadas con una frecuencia mensual e informada como promedio trimestral. Además, se recolectaron semestralmente muestras de alimentos vegetales de una quinta ubicada en dirección sudoeste al CAE. Los resultados se expresan semestralmente. Todos los puntos se encuentran dentro de un radio de 3 km del Centro Atómico Ezeiza. Adicionalmente, se realizó la medición de tasa de dosis ambiental.

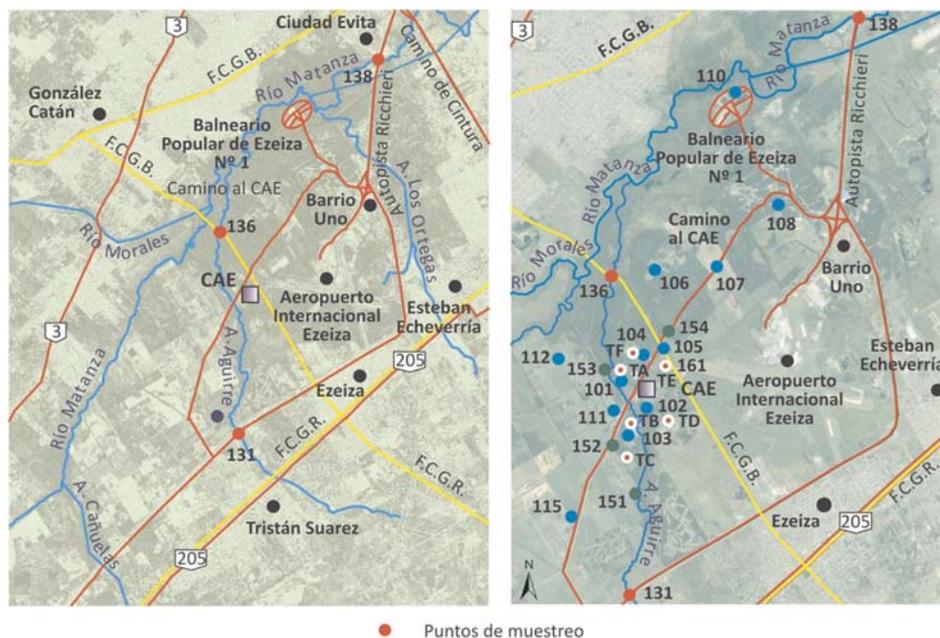


Figura 13. Alrededores del Centro Atómico Ezeiza (Provincia de Buenos Aires)

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas autorizadas, se tomaron y analizaron muestras de agua de consumo humano del CAE y de sus alrededores (Figura 13, puntos 101 a 115); y muestras de agua y sedimentos del arroyo Aguirre y río Matanza, las que fueron tomadas con una frecuencia mensual, antes y después del CAE (Figura 13, puntos 131, 136 y 138).

Las mediciones de cesio 137, cobalto 60 y estroncio 90 en las muestras correspondientes a alimentos se realizaron por espectrometría gamma, sobre comprimidos de cenizas de muestras semestrales calcinadas.

En el caso de la determinación actividad alfa-beta en aguas, las muestras fueron concentradas para bajar el límite de detección y medidas en un equipo de centelleo líquido; en el caso de que los resultados de actividad alfa o beta superaron los niveles de referencia de la OMS para aguas potables, se analizaron los radionucleidos individuales correspondientes.

Las concentraciones de estroncio 90 fueron determinadas conforme a la técnica descrita en el caso de las centrales nucleares.

Durante el año 2011 se recolectaron 611 muestras efectuándose sobre las mismas diversas determinaciones de los distintos radionucleidos de interés.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar ^(*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Particulado en aire	emisores gamma	continua	semanal
	estroncio 90		pool trimestral
	uranio	continuo / semestral	semestral
Vegetales y frutas cosechados en la zona	emisores gamma	semestral (verduras de hoja VH, verduras de raíz VR, otras verduras VO, frutas FR)	semestral
	estroncio 90		
Pasto	yodo 131	mensual	mensual
	emisores gamma		
Agua superficial del arroyo Aguirre	tritio	mensual (se muestrea por triplicado para uranio)	mensual (se analiza por triplicado para uranio)
	emisores gamma		
	uranio	semestral (sólo punto 138)	semestral (sólo punto 138)
Agua de consumo humano	tritio	trimestral	trimestral
	uranio	mensual	mensual
	emisores alfa-beta	trimestral	trimestral
	emisores gamma	mensual (puntos CAE 101 a 104)	pool trimestral (puntos CAE 101 a 104)
		trimestral	trimestral
Sedimentos del arroyo Aguirre	emisores gamma	semestral	semestral
	uranio		
Depósito	emisores gamma	continuo	trimestral
	estroncio 90		

^(*) emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas.

Concentración de actividad en aguas de consumo humano						
Punto CAE 101						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,38 (15,1 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,49	0,49
Máximo (Bq/l)	0,47 (18,8 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,55	0,55
Mínimo (Bq/l)	0,28 (11,3 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,45	0,45
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,02; cobalto 0,007						
Punto CAE 102						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,26 (10,4 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,28	0,38
Máximo (Bq/l)	0,31 (12,2 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,32	0,49
Mínimo (Bq/l)	0,21 (8,5 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,20	0,18
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,02; cobalto 0,02						
Punto CAE 103						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,46 (18,5 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,67	0,76
Máximo (Bq/l)	0,62 (24,8 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,71	0,85
Mínimo (Bq/l)	0,27 (10,9 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,61	0,62
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,03; cobalto 0,01						
Punto CAE 104						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,39 (15,4 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,48	0,52
Máximo (Bq/l)	0,94 (37,4 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,73	0,72
Mínimo (Bq/l)	0,23 (9,0 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,27	0,42
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,02; cobalto 0,02						
Punto CAE 105						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,19 (7,7 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,21	0,37
Máximo (Bq/l)	0,21 (8,4 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,22	0,44
Mínimo (Bq/l)	0,17 (6,8 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,20	0,33
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 106						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,21 (8,5 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,23	0,39
Máximo (Bq/l)	0,30 (11,8 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,25	0,45
Mínimo (Bq/l)	0,17 (6,9 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,21	0,34
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,3; cobalto 0,2						

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$ (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



Concentración de actividad en aguas de consumo humano						
Punto CAE 107						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,18 (7,1 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,18	0,33
Máximo (Bq/l)	0,22 (8,8 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,22	0,36
Mínimo (Bq/l)	0,15 (5,9 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,16	0,29
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 108						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,18 (7,1 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,18	0,37
Máximo (Bq/l)	0,25 (9,9 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,20	0,44
Mínimo (Bq/l)	0,15 (6,0 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,15	0,32
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,2						
Punto CAE 110						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,22 (8,9 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,29	0,51
Máximo (Bq/l)	0,27 (10,9 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,31	0,59
Mínimo (Bq/l)	0,10 (4,0 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,25	0,44
Nº muestras analizadas	9	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	9	0	0	0	3	3
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,3; cobalto 0,2						
Punto CAE 111						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,54 (21,6 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,78	0,90
Máximo (Bq/l)	0,75 (29,9 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,87	1,24
Mínimo (Bq/l)	0,35 (14,0 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,65	0,71
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1						
Punto CAE 112						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,20 (8,0 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,21	0,67
Máximo (Bq/l)	0,26 (10,2 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,23	0,77
Mínimo (Bq/l)	0,02 (0,6 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,17	0,55
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,2						
Punto CAE 115						
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	0,51 (20,2 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,70	0,70
Máximo (Bq/l)	0,66 (26,2 $\mu\text{g/l}$)	<LD	<LD	<LD	0,75	0,79
Mínimo (Bq/l)	0,39 (15,5 $\mu\text{g/l}$)	na	na	na	0,64	0,57
Nº muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
Nº análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1						

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$ (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas del arroyo Aguirre y río Matanza				
Arroyo Aguirre, aguas arriba del CAE (punto CAE 131)				
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/l)	0,23 (9,0 µg/l)	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,36 (14,4 µg/l)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,12 (4,8 µg/l)	na	na	na
Nº muestras analizadas	36	11	12	12
Nº análisis > LD	36	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,6; cobalto 0,6				
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE 136)				
	uranio (*)	tritio	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/l)	0,23 (9,2 µg/l)	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,29 (11,4 µg/l)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,13 (5,3 µg/l)	na	na	na
Nº muestras analizadas	33	11	11	11
Nº análisis > LD	33	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,8; cobalto 0,9				
Río Matanza, aguas abajo del CAE (punto CAE 138)				
	uranio (*)			
Promedio (Bq/l)	0,15 (5,9 µg/l)			
Máximo (Bq/l)	0,15 (6,1 µg/l)			
Mínimo (Bq/l)	0,14 (5,6 µg/l)			
Nº muestras analizadas	2			
Nº análisis > LD	2			

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 µBq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en sedimentos del arroyo Aguirre			
Arroyo Aguirre, aguas arriba del CAE (punto CAE 131)			
	uranio (*)	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): uranio 19; cesio 0,5; cobalto 0,4			
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE 136)			
	uranio (*)	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	0,33	5,6
Máximo (Bq/kg)	67 (2,68 µg/g)	0,42	8,0
Mínimo (Bq/kg)	na	0,23	3,1
Nº muestras analizadas	1	2	2
Nº análisis > LD	1	2	2

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 µBq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)					
Punto TA	Punto TB	Punto TC	Punto TD	Punto TE	Punto TF
41,9	43,6	40,8	46,2	49,2	45,8

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire				
Punto CAE 161				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio (*)
Promedio ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	na	na	na	5,4 (0,00022 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	<LD	<LD	<LD	8,3 (0,00033 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mínimo ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	na	na	na	2,5 (0,0001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Nº muestras analizadas	49	49	4	2
Nº análisis > LD	0	0	0	2
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 5; cobalto 4; estroncio 4,1				

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$ (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Depósito de actividad en muestras de agua de lluvia			
Punto CAE 172			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/m^2)	na	na	na
Máximo (Bq/m^2)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/m^2)	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/m^2): cesio 0,07; cobalto 0,07; estroncio 0,05			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Depósito de actividad en muestras de pasto de la zona			
Promedio puntos CAE 131, 151, 152, 153 y 154			
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
Promedio (Bq/m^2)	na	na	na
Máximo (Bq/m^2)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/m^2)	na	na	na
Nº muestras analizadas (*)	60	60	60
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/m^2): cesio 8; cobalto 10; yodo 9			

(*) Se analizaron 12 muestras de pasto en el año, en 5 puntos distintos en los alrededores del CAE.

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona			
Frutas			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,006; cobalto 0,007; estroncio 0,06			
Verduras de hoja			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,008; cobalto 0,008; estroncio 0,07			
Verduras de raíz			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,01; cobalto 0,02; estroncio 0,10			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Conclusiones

Se detectaron trazas de cesio 137 y cobalto 60 en algunas muestras de sedimentos del arroyo Aguirre.

En los casos puntuales en que las mediciones de actividad alfa en aguas superaron el nivel de criba de 0,5 Bq/l, se realizaron mediciones de concentración de actividad de radio 226. Los resultados de dichos análisis complementarios fueron menores que el límite de detección de la técnica empleada.

Los resultados en todas las muestras de aguas analizadas implican que las concentraciones de actividad de los radionucleidos no superan los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para concentración de actividad de esos radionucleidos en agua de consumo humano (10 Bq/l para estroncio 90, cesio 137 y uranio 238; 100 Bq/l para cobalto 60 y 10.000 Bq/l para tritio.

Si bien la ARN no es autoridad competente en materia de efectos toxicológicos del uranio, se realizó esta evaluación, teniendo en cuenta la legislación vigente. El análisis de las mediciones de concentración de uranio total efectuadas en los monitoreos rutinarios, indica que ninguno de los resultados de las mediciones informadas supera el valor guía de 100 µg/l de concentración de uranio establecido en la legislación (Decreto Reglamentario Nº 831/93 de la Ley Nº 24.051 y Ley Nº 24.585 "Código de Minería") y que tales resultados son marcadamente inferiores a ese nivel guía.

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 44,6 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

En todas las muestras analizadas, la ARN ha verificado que los resultados cumplen los límites y restricciones de dosis para las personas del público establecidos en la normativa de este organismo, "Norma Básica de Seguridad Radiológica" Norma AR 10.1.1., las que son consistentes con las recomendaciones efectuadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP sus siglas en inglés) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Del análisis de los resultados de las mediciones de concentración de actividad en las distintas muestras analizadas correspondientes al monitoreo radiológico ambiental en los alrededores del CAE, se verifica que los valores se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, siendo inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

Centro Atómico Bariloche (CAB)

El Centro Atómico Bariloche y el Instituto Balseiro son dos instituciones científicas, ubicadas en la ciudad de San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro, Argentina. Este Centro es una dependencia de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y sus principales actividades son la investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en las áreas de Física e Ingeniería, en particular la Energía Nuclear. Se destaca la presencia del reactor de investigación RA 6.

El muestreo radiológico ambiental asociado al CAB se lleva a cabo trimestralmente sobre muestras de aguas y sedimentos de distintos puntos del arroyo Gutiérrez y del lago Nahuel Huapi, lo que implica la toma de muestras de aguas y sedimentos, aguas arriba y abajo de la instalación. También se analiza el agua de consumo humano de la ciudad de San Carlos de Bariloche. Adicionalmente y con una frecuencia anual se toman muestras de otros puntos del lago.



A fin de evaluar el impacto en el ambiente de las descargas gaseosas producidas por el CAB se realiza el muestreo de aerosoles ambientales y tasa de dosis ambiental de la zona aledaña al CAB.

En la Figura 14 se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo. Sobre las muestras se realizaron las determinaciones de estroncio 90 y de ra-



Figura 14. Alrededores del Centro Atómico Bariloche (Provincia de Río Negro)

dionucleidos emisores gamma (cesio 137 y cobalto 60). También se realizó la determinación de tritio en aguas a fin de contar con registros de los niveles de este radionucleido en aguas de la zona.

Durante el año 2011 se recolectaron 26 muestras. Se realizaron sobre las mismas diversas determinaciones y análisis radioquímicos.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar ^(*)	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Aerosoles totales en aire	emisores gamma	continua (muestra integrada de una semana)	anual
	estroncio 90		
	uranio natural		
Suelos	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90		
Agua del arroyo Gutiérrez y del lago Nahuel Huapi	tritio	trimestral	trimestral
	emisores gamma		
	emisores alfa - beta		
Agua de consumo humano	tritio	trimestral	trimestral
	emisores gamma		
	emisores alfa - beta		
Sedimento del arroyo Gutiérrez	emisores gamma	semestral	semestral
	estroncio 90		

^(*) emisores gamma se refiere a cesio 137 y cobalto 60

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Concentración de actividad en aguas del arroyo Gutiérrez y del lago Nahuel Huapi					
Lago Nahuel Huapi - aguas arriba desembocadura arroyo Gutiérrez (punto CAB 1)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores α 0,06; emisores β 0,09					
Lago Nahuel Huapi - aguas abajo desembocadura Arroyo Gutiérrez (punto CAB 7)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores α 0,06; emisores β 0,09					
Arroyo Gutiérrez - aguas arriba del CAB (punto CAB 15)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,2; emisores α 0,06; emisores β 0,09					
Arroyo Gutiérrez - aguas abajo del CAB (punto CAB 4)					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,1; emisores α 0,06; emisores β 0,09					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en aguas de consumo humano ciudad de San Carlos de Bariloche					
	tritio	cesio 137	cobalto 60	emisores α	emisores β
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	3	3	3	3
Nº análisis > LD	0	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10; cesio 0,2; cobalto 0,2; emisores α 0,06; emisores β 0,09					

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en sedimentos del arroyo Gutiérrez			
Aguas arriba del CAB (punto CAB 15)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,5	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,6	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	1,5	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 2,5			
Aguas abajo del CAB (punto CAB 4)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,7	na	na
Máximo (Bq/kg)	2,9	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	0,6	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,3; estroncio 2,7			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)			
Punto de interés público (punto CAB 17)	Vientos arriba del CAB (punto CAB 16)	Vientos abajo del CAB (punto CAB 14bis)	Vientos abajo del CAB (punto CAB 14)
67,0	58,3	63,2	65,4

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)			
Vientos arriba del CAB (punto CAB 16)			
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio (*)
<LD	<LD	<LD	1,03 (0,000041 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 0,6; cobalto 0,6; estroncio 4,4			
Punto equivalente a vientos abajo del CAB (punto CAB 15)			
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio (*)
<LD	<LD	<LD	0,85 (0,000034 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 1; cobalto 0,6; estroncio 4,4			
Punto de interés público (punto CAB 17)			
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio (*)
<LD	<LD	<LD	0,40 (0,000016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 1; cobalto 0,6; estroncio 4,3			

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$ (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado

Conclusiones

La presencia de trazas de cesio 137 en algunas muestras de sedimentos es atribuible al fallout ambiental. Cabe señalar que los niveles observados son semejantes para muestras analizadas tanto aguas arriba como aguas debajo del centro atómico.

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 63,5 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

Los niveles de uranio natural medidos en las muestras de aire son consistentes con los resultados reportados por la bibliografía internacional para sitios no relacionados con instalaciones nucleares (UNSCEAR 2000-2008).

Del análisis de los resultados de las mediciones realizadas en las distintas muestras analizadas, correspondientes al monitoreo radiológico ambiental en los alrededores del CAB, se verifica que los valores se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por la ARN para estimar la dosis en los individuos más expuestos, siendo inferiores a los establecidos en la normativa vigente.

Complejo Tecnológico Pilcaniyeu

Se encuentra ubicado en el Departamento Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro, a unos 45 km de la ciudad de San Carlos de Bariloche y a 15 km de la localidad de Pilcaniyeu, cabecera de dicho Departamento.

El muestreo radiológico ambiental se basa principalmente en la determinación de la concentración de uranio natural, en muestras de aguas superficiales y sedimentos en el curso del río Pichileufú (que atraviesa el complejo), aguas arriba y aguas abajo de la instalación. También se toma una muestra del agua de consumo humano de la localidad de Pilcaniyeu. En la Figura 15 se presentan los puntos de muestreo vinculados a este Complejo.



Se recolectaron durante 2011, 3 muestras de aguas superficiales, 1 muestra de agua de consumo humano y 2 muestras de sedimentos. Los resultados obtenidos pueden observarse en las tablas siguientes:

Figura 15. Alrededores del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (Provincia de Río Negro)

Complejo Tecnológico Pilcaniyeu	
Agua del río Pichileufú, aguas arriba de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/l)	na
Máximo (µg/l)	1,8
Mínimo (µg/l)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1
Agua del río Pichileufú, aguas abajo de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/l)	3,2
Máximo (µg/l)	3,7
Mínimo (µg/l)	2,7
Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	2
Aguas de consumo humano de Pilcaniyeu	
	uranio (µg/l)
Promedio (µg/l)	na
Máximo (µg/l)	2,7
Mínimo (µg/l)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1
Sedimentos del río Pichileufú, aguas arriba de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/g)	na
Máximo (µg/g)	17,22
Mínimo (µg/g)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1
Sedimentos del río Puchileufú, aguas abajo de la instalación	
	uranio
Promedio (µg/g)	na
Máximo (µg/g)	2,43
Mínimo (µg/g)	na
Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Complejos minero fabriles

Para evaluar el impacto radiológico ambiental, la ARN lleva a cabo monitorajes ambientales en los alrededores de los complejos y ex complejos minero fabriles del país, asociados a la explotación y al procesamiento del mineral de uranio.

A tal fin, en los alrededores de dichas instalaciones, se realizan muestreos de aguas superficiales y sedimentos de las zonas de influencia.

Paralelamente, se realizan muestreos de aguas de napa freática si las características de la zona del emplazamiento lo justifican, y de aguas de consumo humano en zonas aledañas.

Dado que las vías críticas de llegada al hombre son la ingestión de agua y la inhalación, se llevan a cabo las determinaciones de la concentración de uranio y de la actividad de radio 226 en muestras de agua y sedimentos, y la tasa de emanación del gas radón en las escombreras de mineral de uranio, ya que estos son los radionucleidos radiológicamente más significativos.

Complejo minero fabril San Rafael (o Sierra Pintada)

El Complejo minero fabril “San Rafael” se encuentra ubicado a 35 km al oeste de la ciudad de San Rafael, Provincia de Mendoza, emplazado en la denominada “Sierra Pintada”. El mismo comenzó su operación en el año 1979 y actualmente el proceso de producción se encuentra interrumpido.



Figura 16. Alrededores del Complejo minero fabril San Rafael (Provincia de Mendoza)

El muestreo radiológico ambiental asociado a la operación de la instalación se lleva a cabo sobre el arroyo Tigre (que atraviesa el complejo) y el río Diamante, efectuándose la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos. También se analiza el agua de consumo humano de la Villa 25 de Mayo, de la ciudad de San Rafael y de la localidad de Monte Comán.

En la Figura 16 se presentan los cursos de agua y la ubicación de los puntos de muestreo.

Se recolectaron durante 2011, 13 muestras de aguas superficiales, 3 muestras de agua de consumo humano y 9 muestras de sedimentos.

Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Complejo minero fabril San Rafael			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	3,0	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	4,7	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	0,9	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	5	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,2	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	3,9	Promedio (mBq/l)	Na
Máximo (µg/l)	7,9	Máximo (mBq/l)	6,0
Mínimo (µg/l)	1,8	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	8	Nº muestras analizadas	8
Nº análisis > LD	8	Nº análisis > LD	1
		LD (mBq/l): 3,6	
Aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	2,0	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	2,8	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	1,0	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,6	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	85,2
Máximo (µg/g)	1,61	Máximo (mBq/g)	329
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	15,8
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	5
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	350,2
Máximo (µg/g)	2,36	Máximo (mBq/g)	1668
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	15,7
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	4

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Planta de Conversión de Dióxido de Uranio (Dioxitek) (Ex Complejo fabril Córdoba)

Esta Planta está ubicada en la ciudad de Córdoba, en la zona conocida como Alta Córdoba, y fue creada con el objeto de determinar la posibilidad de obtención, en escala industrial, de concentrados de uranio. A partir de 1982 se iniciaron las operaciones de las líneas de purificación y conversión del concentrado de uranio proveniente de los diferentes complejos mineros fabriles.



El muestreo para evaluar el impacto radiológico ambiental debido a la operación de esta instalación se basa en la toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el río Suquía (Río Primero), aguas arriba y aguas abajo de la instalación, como puede observarse en la Figura 17. Se toma además una muestra del agua de consumo humano de la ciudad de Córdoba.

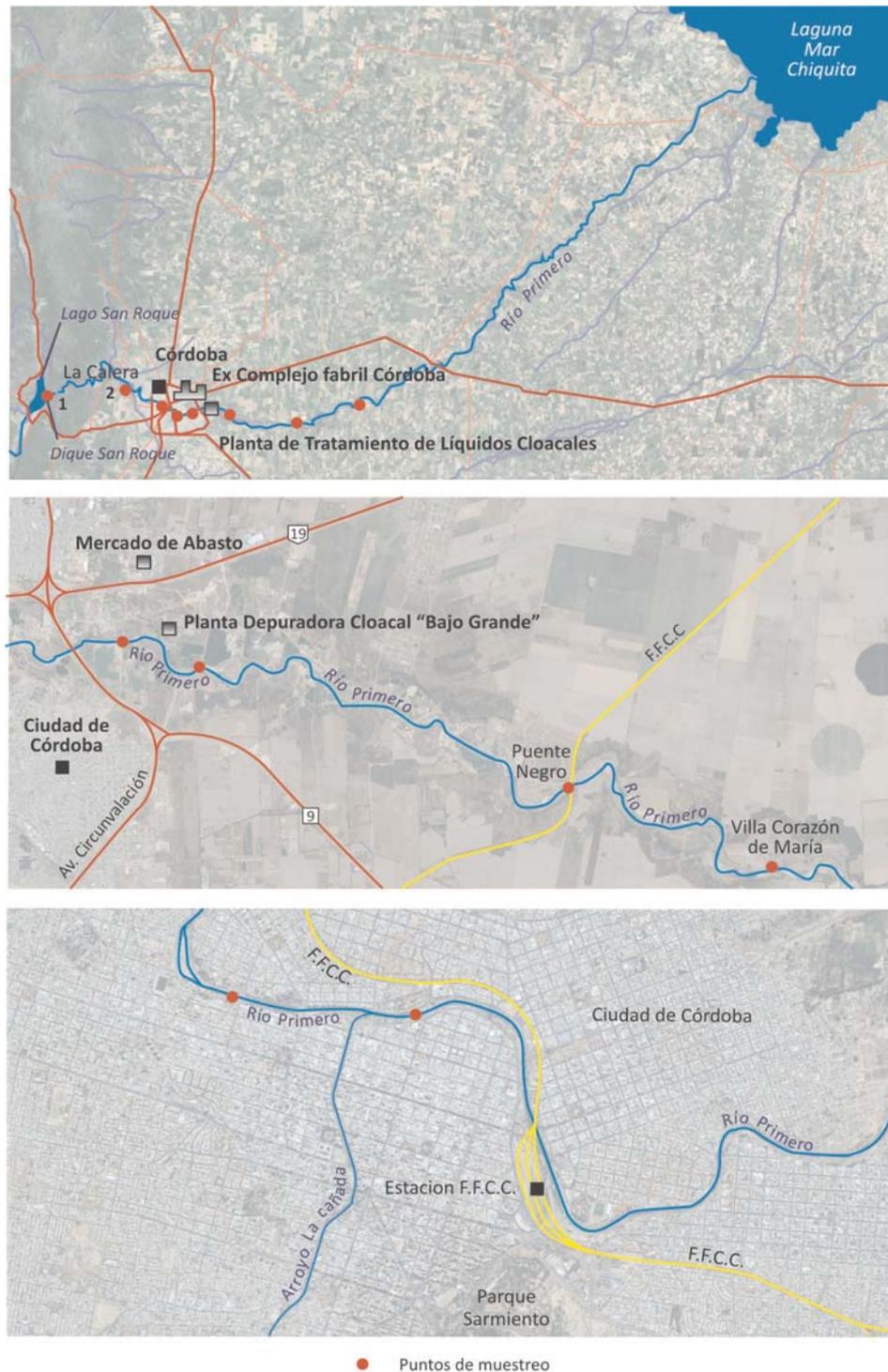


Figura 17. Alrededores de la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio (Provincia de Córdoba)

Durante el año 2011 se tomaron 8 muestras de aguas superficiales, 1 de agua de consumo humano y 4 muestras de sedimentos. Se determinó, además, la tasa de emanación de radón en las escombreras de mineral de uranio tratado. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Planta de Conversión de Dióxido de Uranio Dioxitek / Complejo fabril Córdoba			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	7,4	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	15,6	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	2,3	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	5	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 3,0			
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	14,4	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	16,5	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	12,3	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 3,1			
Aguas de consumo humano de la ciudad de Córdoba			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	0,8	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 2,9			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	18,1
Máximo (µg/g)	1,26	Máximo (mBq/g)	23,6
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	12,5
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	2
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	42,2
Máximo (µg/g)	7,43	Máximo (mBq/g)	51,9
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	32,4
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	2

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Ex Complejo minero fabril Malargüe

El ex Complejo fabril "Malargüe" se encuentra ubicado al sur de la Provincia de Mendoza, aproximadamente a 1 km del centro de la ciudad de Malargüe. Comenzó su operación en el año 1954 finalizando la misma en 1986. En principio procesó mineral de uranio procedente de los yacimientos "Huemu" y "Agua Botada", ubicados 40 km al sur de la localidad de Malargüe, procesando luego mineral proce-

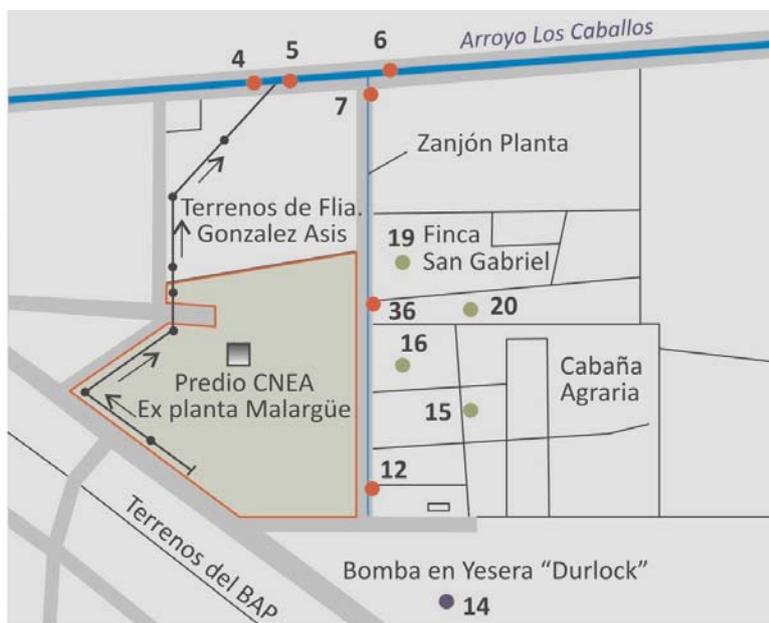




● Puntos de muestreo ● Agua de consumo humano

dente de San Rafael. Se están llevando a cabo las tareas del cierre definitivo de la instalación. El muestreo radiológico ambiental se lleva a cabo en aguas de napa freática, dado que es característico de la zona que la misma se encuentre muy elevada, aflorando en varios puntos en los alrededores de la instalación. El muestreo corresponde a distintos puntos aguas abajo del sentido de escurrimiento de la napa hasta su afloramiento definitivo en la laguna Llanquanelo.

- Ex complejo fabril Malargüe (Ciudad de Malargüe)
- ● Puntos de muestreo
- Agua de Arroyo
- Napa Freática
- Agua de Acuífero
- Recorrido Drenaje Planta



Muestreo ambiental Mina Huemul zona de influencia vinculada al ex Yacimiento Malargüe

- Agua de arroyo y sedimento



Figura 18. Alrededores del ex Complejo minero fabril Malargüe (Provincia de Mendoza)

Asimismo, se toman muestras de aguas superficiales y sedimentos en puntos ubicados en la zona de influencia de la instalación, y del agua de consumo humano de la ciudad de Malargüe, (ver Figura 18).

Se recolectaron en el año 2011, 10 muestras de aguas superficiales, 9 de aguas subterráneas, 1 de agua de consumo humano y 10 muestras de sedimentos.

Se determinó, además, la tasa de emanación de radón en las escombreras de mineral de uranio tratado. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo fabril Malargüe			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,8	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	3,4	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	1,0	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,5	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	17,3	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	66,5	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	2,3	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	6	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,6	
Aguas de consumo humano de la ciudad de Malargüe			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	1,2	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,2	
Aguas subterráneas de la zona de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	6,2	Promedio (mBq/l)	10,8
Máximo (µg/l)	22,5	Máximo (mBq/l)	40,3
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	9	Nº muestras analizadas	8
Nº análisis > LD	8	Nº análisis > LD	3
LD (µg/l): 0,5		LD (mBq/l): 3,4	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	172,4
Máximo (µg/g)	1,3	Máximo (mBq/g)	423,9
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	42,3
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	3

Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio ($\mu\text{g/g}$)	na	Promedio (mBq/g)	37,5
Máximo ($\mu\text{g/g}$)	2,32	Máximo (mBq/g)	49,7
Mínimo ($\mu\text{g/g}$)	na	Mínimo (mBq/g)	16,5
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	7

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Ex Complejo minero fabril Los Gigantes

Se encuentra ubicado en la Provincia de Córdoba, en el Cerro Los Gigantes, al sudoeste de la denominada Pampa de San Luis, en el Departamento de Cruz del Eje, limítrofe con el Departamento de Punilla.

El muestreo radiológico ambiental asociado a la instalación se basa, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre el curso de los ríos Cajón y Cambuche. Complementariamente, se muestrean los cursos de agua asociados a estos, como los arroyos Batán y Moreno, y los ríos Icho Cruz y San Antonio.

En la Figura 19 se muestran esquemáticamente los alrededores del ex Complejo Minero Fabril Los Gigantes, indicándose los puntos de muestreo.

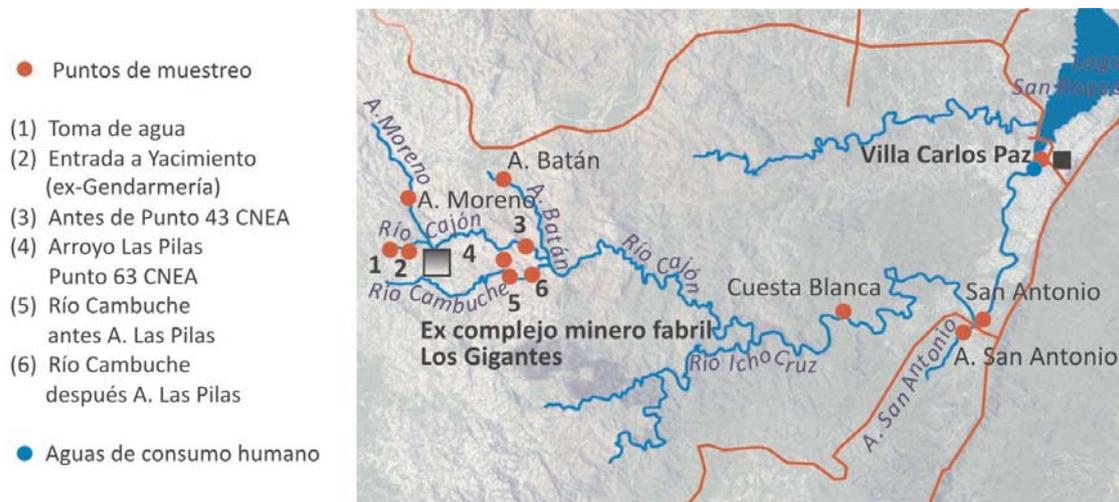


Figura 19. Alrededores del ex Complejo minero fabril Los Gigantes (Provincia de Córdoba)

Se recolectaron en 2011, 12 muestras de aguas superficiales y 1 muestra de agua de consumo humano en la localidad de Villa Carlos Paz y 9 muestras de sedimentos. Se presentan a continuación los valores obtenidos en las distintas muestras.

Ex Complejo minero fabril Los Gigantes			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,3	Promedio (mBq/l)	5,1
Máximo (µg/l)	4,3	Máximo (mBq/l)	14,8
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	1
LD (µg/l): 0,5		LD (mBq/l): 3,3	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	0,7	Promedio (mBq/l)	6,8
Máximo (µg/l)	1,1	Máximo (mBq/l)	16,8
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	5	Nº análisis > LD	3
LD (µg/l): 0,5		LD (mBq/l): 3,4	
Aguas de consumo humano de Villa Carlos Paz			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	<LD	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 0,5		LD (mBq/l): 3,2	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	91,5
Máximo (µg/g)	3,35	Máximo (mBq/g)	121,6
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	61,5
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	3
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	109,2
Máximo (µg/g)	2,23	Máximo (mBq/g)	229,4
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	29,3
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	6

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Ex Complejo minero fabril La Estela

El ex Complejo minero fabril La Estela que operó desde el año 1982 hasta el año 1991, está ubicado en el Departamento Chacabuco, en la Provincia de San Luis. Está emplazado sobre la margen este de la ruta provincial Nº 1, 4 km hacia el norte de la localidad de Villa Larca y 30 km al sur de la ciudad de Merlo.

Por razones topográficas y requerimientos de áreas aptas, la planta de tratamiento de mineral estaba ubicada a 3 km en línea recta del sector de mina. El ya-



cimiento La Estela está ubicado, como se indica en la Figura 20, sobre la margen izquierda del río Seco, aproximadamente a 1200 m sobre el nivel del mar, en el faldeo occidental de la sierra de Comechingones.



Figura 20. Alrededores del ex Complejo minero fabril La Estela (Provincia de San Luis)

El sentido general de circulación de agua subterránea es de sur a norte, ya que al este y al oeste el Valle de Conlara está enmarcado por las sierras de Comechingones y San Luis, respectivamente, y prácticamente está cerrado en el sur por las sierras de la Estanzuela, Tilisarao, Naschel, del Carrizal y San Felipe.

El muestreo radiológico ambiental se lleva a cabo sobre el río Seco, tomándose muestras de aguas superficiales y sedimentos. También se toman muestras de agua de napa, por la eventual influencia sobre la misma del río Seco y muestras de aguas superficiales y sedimentos sobre los arroyos Benítez y Gatica y el río Conlara (por la eventual influencia sobre éste de las aguas subterráneas). Adicionalmente, se toman muestras del agua de consumo humano de Villa Larca, Concarán, Santa Rosa de Conlara y Merlo.

En el año 2011 se tomaron 7 muestras de aguas superficiales, 1 de agua subterránea, 4 muestras de agua de consumo humano y 6 muestras de sedimentos. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril La Estela			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	3,7	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	4,7	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	2,6	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	2	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	2	Nº análisis > LD	0
LD (mBq/l): 3,1			
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	18,0	Promedio (mBq/l)	6,2
Máximo (µg/l)	58,0	Máximo (mBq/l)	14,5
Mínimo (µg/l)	4,6	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	5	Nº muestras analizadas	5
Nº análisis > LD	5	Nº análisis > LD	2
LD (mBq/l): 3,3			
Aguas de consumo humano del Valle de Conlara			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	8,9	Promedio (mBq/l)	5,2
Máximo (µg/l)	22,4	Máximo (mBq/l)	7,0
Mínimo (µg/l)	0,7	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	2
LD (mBq/l): 3,3			
Aguas subterráneas del Valle de Conlara			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	20,6	Máximo (mBq/l)	7,7
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	1
LD (mBq/l): 3,4			
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	608,9
Máximo (µg/g)	27,4	Máximo (mBq/g)	1114,7
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	103,0
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	2
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	254,4
Máximo (µg/g)	25,1	Máximo (mBq/g)	646,3
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	29,1
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	4

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Ex Complejo minero fabril Tonco - Don Otto

El ex Complejo minero fabril Tonco comenzó su actividad en abril de 1964, finalizando la misma en el año 1981. Está ubicado, como se indica en la Figura 21, en el Departamento San Carlos, en la Provincia de Salta, a unos 150 km al sudoeste de la ciudad capital. Operó, fundamentalmente, con mineral proveniente del yacimiento Don Otto y, en menor escala, con mineral de los yacimientos Los Berthos, Pedro Nicolás y Martín Miguel de Güemes.

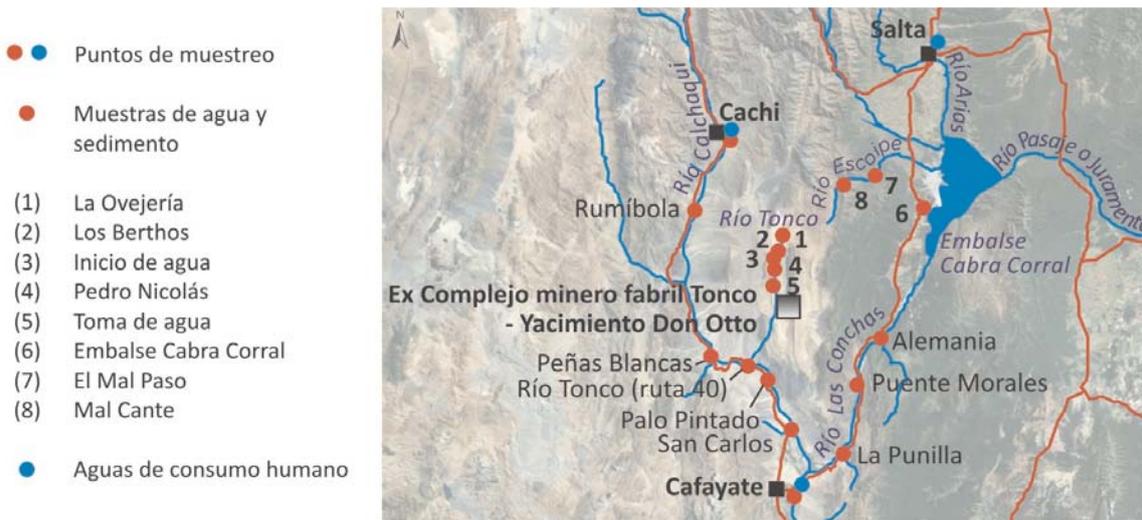


Figura 21. Alrededores del ex Complejo minero fabril Tonco - Don Otto (Provincia de Salta)

El monitoreo radiológico ambiental consiste, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos de los ríos Calchaquí, Las Conchas, y Tonco (que atraviesa el yacimiento). Debido a las características climatológicas de la zona los cursos de agua en gran parte del año se encuentran secos, hecho por el cual el muestreo se ve limitado. También se toman muestras de agua de consumo humano en la ciudad de Salta y las localidades de Cafayate y Cachi.

Durante el año 2011, se tomaron 19 muestras de aguas superficiales, 3 de aguas de consumo humano y 21 muestras de sedimentos. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Tonco - Don Otto			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	12,0	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	32,0	Máximo (mBq/l)	5,0
Mínimo (µg/l)	1,9	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	9	Nº muestras analizadas	9
Nº análisis > LD	9	Nº análisis > LD	1
		LD (mBq/l): 3,5	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	5,8	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	8,4	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	2,5	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	6	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,6	
Aguas de consumo humano en zona de influencia Salta-Cafayate-Cachi			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	2,8	Promedio (mBq/l)	4,8
Máximo (µg/l)	5,6	Máximo (mBq/l)	5,8
Mínimo (µg/l)	1,1	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	2
LD (µg/l): na		LD (mBq/l): 3,2	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	25,9
Máximo (µg/g)	1,96	Máximo (mBq/g)	47,9
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	>LD
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	10
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	8
		LD (mBq/g): 14,5	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	23,6
Máximo (µg/g)	1,30	Máximo (mBq/g)	36,9
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	6
		LD (mBq/g): 13,4	

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Ex Complejo minero fabril Pichiñán - Los Adobes

El ex Complejo minero fabril Pichiñán se encuentra ubicado en la Provincia de Chubut, 40 km al norte de la localidad de Paso de Indios, sobre la ruta provincial N° 12.

Este complejo inició su operación en agosto de 1977, finalizando la misma en abril de 1981, fecha en la que se procedió al cierre de la instalación. En principio se procesó mineral proveniente del yacimiento “Los Adobes”, ubicado 40 km al norte del complejo, y posteriormente del yacimiento “Cerro Cóndor” ubicado 35 km al noroeste de la instalación.



Figura 22. Alrededores del ex Complejo minero fabril Pichiñán (Provincia de Chubut)

El monitoreo radiológico ambiental consiste, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas superficiales y sedimentos en el curso del río Chubut. También se toman muestras de agua de consumo humano en las localidades de Los Altares, Gaiman, Trelew y Rawson, ubicadas aguas abajo del complejo, siguiendo el curso del río, y finalmente una muestra de agua de mar en la desembocadura de este río en el Océano Atlántico (Bahía Engaño), ver Figura 22.

Durante el año 2011, se tomaron 23 muestras de aguas superficiales, 4 de aguas de consumo humano y 16 muestras de sedimentos. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Pichiñán - Los Adobes			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	0,70	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	1,10	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	11	Nº muestras analizadas	11
Nº análisis > LD	10	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 0,5		LD (mBq/l): 3,0	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,6	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	9,0	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	11	Nº muestras analizadas	11
Nº análisis > LD	9	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 0,5		LD (mBq/l): 3,1	
Aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	1,5	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	2,7	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	0,8	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 2,9	
Aguas de mar Bahía Engaño - Playa Unión - Rawson - Chubut			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	1,8	Máximo (mBq/l)	3,9
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	1
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	21,1
Máximo (µg/g)	1,42	Máximo (mBq/g)	39,8
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	<LD
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	9
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	8
		LD (mBq/g): 13,9	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	28,6
Máximo (µg/g)	1,74	Máximo (mBq/g)	42,4
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	23,0
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	7

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Ex Complejo minero fabril Los Colorados

El ex Complejo minero fabril Los Colorados, cuya actividad se desarrolló entre 1993 y 1996 está ubicado, como se indica en la Figura 23, en el Departamento Independencia, Provincia de La Rioja, unos 20 km al noroeste de la localidad de Patquía.



Figura 23. Alrededores del ex Complejo minero fabril Los Colorados (Provincia de La Rioja)

La planta de trituración de mineral, lixiviación y concentración de uranio estaba ubicada cerca del yacimiento, en un predio de 90 hectáreas, que corresponde a la concesión de la mina Los Colorados otorgada por la Dirección de Minería de la Provincia de La Rioja.

El monitoreo radiológico ambiental consiste, fundamentalmente, en la recolección de muestras de aguas de napa freática, aguas superficiales y sedimentos de los arroyos Los Mogotes y Saladillo, y del agua de consumo humano de la localidad de Patquía. Debido a las características climatológicas de la zona los cursos de agua en gran parte del año se encuentran secos, hecho por el cual el muestreo se ve limitado.

En el curso del año 2011, se tomaron 2 muestras de aguas superficiales, 5 de aguas subterráneas (1 termal), 1 de agua de consumo humano y 2 muestras de sedimentos. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Los Colorados			
Aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	4,4	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	5,3	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	3,5	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	2	Nº muestras analizadas	2
Nº análisis > LD	2	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/l): 3,2	
Aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	0,9	Máximo (mBq/l)	35,5
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	1
Aguas de consumo humano de Patquía			
uranio (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
12,5		<LD	
		LD (mBq/l): 3,1	
Agua termal de la zona de influencia			
uranio (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
0,9		83,8	
Aguas subterráneas			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/l)	2,5	Promedio (mBq/l)	97,6
Máximo (µg/l)	4,2	Máximo (mBq/l)	283,1
Mínimo (µg/l)	1,1	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	2
		LD (mBq/l): 3,2	
Sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	na
Máximo (µg/g)	1,62	Máximo (mBq/g)	<LD
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
		LD (mBq/g): 14,6	
Sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	na
Máximo (µg/g)	1,89	Máximo (mBq/g)	44,9
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	na
Nº muestras analizadas	1	Nº muestras analizadas	1
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	1

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable



Conclusiones

La OMS ha establecido valores guía de concentración de actividad de radionucleidos para agua potable en el Capítulo 9 de la Revisión 4 (2011) de su “Guía para la Calidad del Agua Potable”. En el caso de los distintos isótopos del uranio los valores guía recomendados para agua potable son 10 Bq/l, 10 Bq/l y 1 Bq/l para los isótopos uranio 238, uranio 234 y uranio 235 respectivamente. Si se comparan los valores medidos de concentración de actividad en aguas ambientales de la zona de influencia de los complejos minero fabriles, con los valores guía recomendados para agua potable por la OMS, se puede concluir que no se superan en ningún caso los valores guía recomendados por dicho organismo internacional para aguas potables.

Por otro lado, a fin de realizar la evaluación de los aspectos toxicológicos asociados a la concentración de uranio en aguas, corresponde tener en cuenta que la legislación nacional establece un nivel guía de 100 µg/l, tal como lo consigna la “Tabla 1 Niveles Guía de Calidad de Agua para Fuentes de Agua de Bebida Humana con Tratamiento Convencional” del Anexo II del Decreto Reglamentario 831/93 de la Ley Nº 24.051 “Residuos Peligrosos” y la “Tabla 1 Fuentes de Agua para Bebida Humana” del Anexo IV “Niveles Guía de Calidad de Agua, Suelo y Aire” de la Normativa Complementaria y Presupuestos Mínimos aprobada por el Consejo Federal de Minería el 16/08/1996, que complementa a la Ley Nº 24.585 “Código de Minería”.

El análisis de las determinaciones de la concentración de uranio efectuadas en aguas ambientales de las distintas zonas correspondientes a los complejos citados, indica que ninguno de los resultados informados supera el valor guía de 100 µg/l de concentración de uranio establecido en la legislación vigente y que tales resultados son marcadamente inferiores a ese nivel guía.

En el caso de las determinaciones de radio 226 en aguas, todos los valores medidos resultan ser marcadamente inferiores al valor guía de concentración de actividad recomendado para agua potable por la OMS (1 Bq/l).

Respecto a las determinaciones realizadas en muestras de sedimentos, a modo de referencia se comparan los valores medidos con los valores reportados en las publicaciones de los años 2000/2008 por el UNSCEAR para radionucleidos naturales medidos en muestras ambientales de suelos de diferentes países.

A continuación se presentan los valores mínimos y máximos medidos de ambos radionucleidos naturales (uranio 238 y radio 226) en las muestras analizadas en las zonas de influencia de las distintas instalaciones asociadas a la minería de uranio, junto a los correspondientes valores mínimos y máximos reportados por UNSCEAR.

	uranio 238 (Bq/kg) valor mínimo	uranio 238 (Bq/kg) valor máximo	radio 226 (Bq/kg) valor mínimo	radio 226 (Bq/kg) valor máximo
Rango de valores UNSCEAR	0,5	1000	0,8	1000
Rango de valores medidos	8,6	685	12,5	1668

Tanto para el uranio como para el radio 226, todas las muestras analizadas resultaron ser compatibles con los valores de concentración de estos radionucleidos encontrados habitualmente en la naturaleza.

Con respecto a la tasa de emanación de radón en yacimientos, los valores medidos resultaron ser similares a los determinados en los últimos diez años.

Monitoraje ambiental no relacionado con las instalaciones nucleares

Se determinaron las concentraciones de radionucleidos de interés en muestras de aire, agua de lluvia, leche, y alimentos varios. Las muestras de frutas y verduras de diferentes especies fueron adquiridas en el Mercado Central de Buenos Aires. Asimismo se determinó el nivel promedio de tasa de dosis ambiental.

Con respecto al muestreo de aerosoles, el equipo muestreador se encuentra ubicado en la Sede Central de la ARN, Avenida del Libertador N° 8250, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En el plan de monitoraje efectuado durante el año 2011 se recolectaron 58 muestras y se efectuaron sobre las mismas diversos tipos de análisis y determinaciones radioquímicas de los distintos radionucleidos de interés.

Los niveles de uranio natural medidos por espectrometría alfa en las muestras de aire son consistentes con los resultados reportados por la bibliografía internacional para sitios no relacionados con instalaciones nucleares (UNSCEAR 2000-2008).

El promedio de los niveles de tasa de dosis ambiental medido en la zona resultó igual a 42 nGy/h, el cual es consistente con el valor medio de 58 nGy/h informado por UNSCEAR para sitios no influenciados por instalaciones nucleares.

En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de muestreo y ensayo de los radionucleidos determinados para cada matriz analizada.

Tipo de muestra	Radionucleido a analizar	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Aerosoles totales en aire	emisores gamma	continua	pool trimestral
	estroncio 90		semestral (en último pool trimestral de cada semestre)
	uranio natural		
Agua del Río de La Plata	tritio	semestral	semestral
	emisores gamma		
	uranio natural		
	emisores alfa-beta		
Leche	emisores gamma	trimestral	trimestral
	estroncio 90		
Vegetales	emisores gamma	semestral (verduras de hoja, verduras de raíz, otras verduras, frutas)	semestral
	estroncio 90		
Depósito	emisores gamma	continua	trimestral
	estroncio 90		

Los valores de actividad medidos en las muestras mencionadas se pueden observar en las siguientes tablas:

Tasa de dosis ambiental - nGy/hora (promedio anual) en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires
42,4

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires				
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio (*)
Promedio ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	na	na	na	na
Máximo ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	<LD	<LD	<LD	2,3 (0,00009 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mínimo ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	na	na	na	na
Nº muestras analizadas	3	3	3	1
Nº análisis > LD	0	0	0	1
LD ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): cesio 2; cobalto 0,5; estroncio 5,8				

(*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 25100 $\mu\text{Bq}/\mu\text{g}$ (NPL Report IR6, enero 2008).

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en alimentos vegetales del Mercado Central			
Frutas			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,008; cobalto 0,008; estroncio 0,03			
Verduras de hoja			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,008; cobalto 0,01; estroncio 0,06			
Verduras de raíz			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,005; cobalto 0,005; estroncio 0,07			
Otras verduras			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
Nº muestras analizadas	2	2	2
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,007; cobalto 0,007; estroncio 0,04			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en muestras de agua de lluvia de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/m ²)	na	na	na
Máximo (Bq/m ²)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/m ²)	na	na	na
Nº muestras analizadas	1	1	1
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/m ²): cesio 0,10; cobalto 0,07; estroncio 0,07			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Concentración de actividad en leche del Mercado Central			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na
Nº muestras analizadas	4	4	4
Nº análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,005; cobalto 0,005; estroncio 0,05			

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable

Fuentes naturales: medición de radón en viviendas

En las últimas décadas se ha determinado que la fuente de radiación de origen natural que más contribuye a la dosis efectiva recibida por el ser humano es un gas (incoloro, insípido e inodoro) denominado radón. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR, por su sigla en inglés) ha estimado que el radón y los radionucleidos resultantes de su desintegración, contribuyen, aproximadamente, con las tres cuartas partes de la dosis efectiva recibida por el hombre debida a fuentes naturales terrestres, y con, aproximadamente, la mitad de la recibida de la totalidad de las fuentes naturales. La mayor parte de la dosis debida al radón, especialmente en ambientes cerrados, proviene de los radionucleidos resultantes de su desintegración.

El radón se presenta en dos formas principales: el radón 222, uno de los radionucleidos presentes en el proceso de desintegración del uranio 238, y el radón 220 producido en las series de desintegración del torio 232. El radón 222 es unas 20 veces más importante, desde el punto de vista radiológico, que el radón 220. Se trata de radioisótopos de un elemento químico de la familia de los gases nobles. Ambos elementos, el uranio y el torio, están presentes en la corteza terrestre en concentraciones promedio relativamente grandes (muy superiores al oro y al platino, por ejemplo).

El radón fluye del suelo en todas partes de la tierra, pero sus niveles en el ambiente varían mucho de un lugar a otro. Las concentraciones de radón en el interior de los edificios son, en promedio, unas 8 veces superiores a las existentes en el exterior. Si bien los materiales de construcción contienen elementos radiactivos naturales y suelen ser fuentes de emanación de radón, el terreno en el que se asientan las viviendas es casi siempre la fuente más importante. En países de clima frío, como en el caso de Suecia y Finlandia, donde las viviendas se mantienen cerradas la mayor parte del año y con un mínimo intercambio de aire con el exterior, la concentración de radón supera los 800 Bq/m³. Debido a su importancia radiológica, surgió la necesidad de conocer los valores de concentración de radón en viviendas de diferentes ciudades de nuestro país, de manera de poder estimar la exposición de la población.

A continuación, en la tabla siguiente, se indican las distintas ciudades del país con el número de viviendas analizadas desde el año 1983 a la fecha, y la concentración de radón promedio determinada en cada caso:

Mediciones realizadas de la concentración de radón en el interior de viviendas		
Provincia	Concentración promedio (Bq/m ³)	Número de viviendas medidas hasta 2011
Mendoza	51,5	1306
Córdoba	64,2	395
Buenos Aires	35,0	456
San Luis	41,6	224
Río Negro	35,2	73
Salta	62,5	17
Chubut	67,8	385
Santa Fe	31,5	61
Chaco	49,4	35
Corrientes	47,9	109
Entre Ríos	79,4	17
Neuquén	40,8	28
Santa Cruz	100,9	20
Santiago del Estero	26,9	80
Tierra del Fuego	28,1	27
Misiones	44,5	2
Argentina*	50,7	3235

* El promedio para Argentina se obtuvo ponderando por número de viviendas medidas en cada provincia.

Conclusiones

El valor medio de la concentración de radón, considerando las 3235 mediciones en viviendas realizadas desde 1983 hasta el año 2011 en todo el país, es de 51 Bq/m³.

La Norma Básica de Seguridad Radiológica establece que, cuando la concentración promedio anual de radón en el interior de las viviendas exceda los 400 Bq/m³, se deben adoptar medidas para reducir la concentración del gas radón, como por ejemplo, ventilar los ambientes.

Por ello, se concluye en base a los resultados obtenidos hasta el momento que, en Argentina los niveles de radón en el interior de viviendas se encuentran dentro de valores aceptables para la población.

Actividades científico técnicas de apoyo a la regulación

La ARN desarrolla a través de la Gerencia de Apoyo Científico Técnico (GACT) tareas científico-tecnológicas de apoyo a su función regulatoria. Para ello cuenta con laboratorios y equipamiento apropiados, así como con personal especializado que lleva a cabo la implementación de metodologías tanto en mediciones como en evaluaciones y sus validaciones en las diferentes áreas de trabajo.

Se realizan tareas de apoyo al control regulatorio y de desarrollo, en las siguientes áreas específicas:

- Muestreos ambientales y de descargas y su correspondiente análisis.
- Evaluaciones de seguridad radiológica en la gestión de residuos radiactivos.
- Evaluaciones de seguridad realizadas en distintos escenarios de exposición.
- Verificación de equipos de medición de radiación.
- Dosimetría en campos de radiación externa.
- Evaluación de la exposición interna en trabajadores y en las aplicaciones de radiofármacos en pacientes de medicina nuclear.
- Dosimetría biológica.
- Evaluación de blindajes.
- Evaluaciones de seguridad radiológica para la prevención de accidentes de criticidad.
- Medición de radón en ambientes laborales y en viviendas.
- Asesoramiento médico en radioprotección a partir de evaluaciones dosimétricas y radiobiológicas.
- Aplicación de Indicadores diagnósticos y pronósticos en situaciones de sobreexposición accidental.
- Estudio de los efectos de la exposición prenatal sobre el sistema nervioso central en desarrollo.

En el Centro Atómico Ezeiza, la ARN dispone de aproximadamente 2000 m² de laboratorios instalados dedicados a: la dosimetría física (dosimetría termoluminescente para gamma y neutrones, dosimetría de neutrones), la dosimetría biológica y dosimetría interna, la evaluación in vivo de la carga corporal debida a exposición interna, la radiopatología, los análisis radioquímicos de muestras de descargas, ambientales y de inspección (espectrometría gamma y alfa, medición de actividad alfa y beta total, laboratorios de medición de actividad de bajo fondo y laboratorios radioquímicos de análisis específicos de radionucleidos), la medición de radón, muestreo de descargas y la determinación de la eficiencia de filtros.

En los laboratorios de análisis radioquímicos, se analizan en forma rutinaria muestras de distintos tipos, entre ellas: aguas, suelos, sedimentos, vegetales, filtros y muestras biológicas (orinas, heces y soplidos nasales), para la determinación de diferentes radionucleidos alfa, beta y gamma emisores. Se analizan también muestras provenientes de inspecciones y auditorías regulatorias.

En los laboratorios de mediciones de radiación, se realizan mediciones programadas y no programadas de carga corporal con el fin de determinar el cumplimiento de niveles apropiados de protección de las personas. Asimismo, con el fin de realizar la evaluación de distintas situaciones de sobreexposición, se aplican dosímetros e indicadores biológicos.

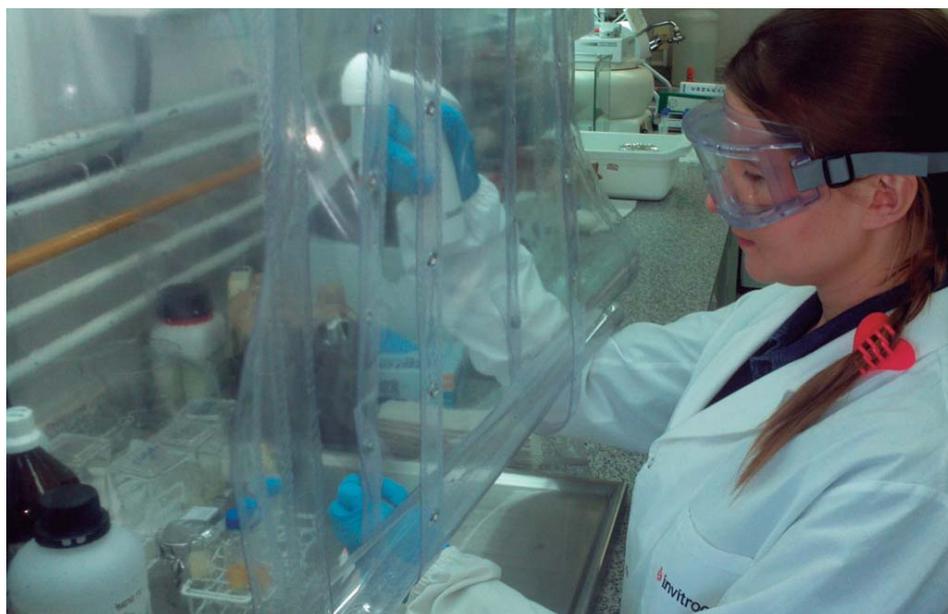
En el área de la dosimetría física se efectúan mediciones rutinarias de dosimetría personal y determinaciones de campos de radiación y las dosis involucradas en reactores, conjuntos críticos y aceleradores de uso médico y de investigación, así como la participación en las auditorías e inspecciones a las instalaciones, con fines regulatorios.

Laboratorio de Radiopatología.
Trabajo con muestras bajo campana de flujo laminar de bioseguridad.



Los laboratorios y el personal que realiza la evaluación de la exposición interna participan regularmente en intercomparaciones de carácter internacional con el objeto de mantener los estándares requeridos para su funcionamiento y organizan intercomparaciones en el ámbito nacional y en la región latinoamericana.

Laboratorio de Dosimetría Biológica.
Procesamiento de muestras bajo campana química.



Tanto los laboratorios como otros grupos de trabajo pertenecientes a la GACT participan en proyectos coordinados de investigación, proyectos de colaboración y actividades en el marco del programa de cooperación técnica del OIEA, desarrollan actividades de investigación y desarrollo en apoyo a la actividad regulatoria y contribuyen con los grupos involucrados en la preparación para la respuesta frente a emergencias radiológicas y nucleares, y participan también en redes regionales e internacionales.

El Laboratorio de Dosimetría Biológica de la ARN, integrado a la red RANET perteneciente al sistema de respuesta y asistencia en situaciones de emergencias del Organismo Internacional de Energía Atómica, brinda asistencia para la estimación dosimétrica de personas involucradas en incidentes y accidentes ocurridos en la región latinoamericana.

Acreditación de laboratorios

Los siguientes laboratorios de ensayo de la ARN han sido ya acreditados ante el Organismo Argentino de Acreditación (OAA) -miembro de ILAC- conforme a la norma internacional IRAM 301:2005 (ISO/IEC 17025:2005):

Laboratorio	Ensayo Acreditado	Inicio vigencia
Control Ambiental	Determinación de la actividad de radionucleidos emisores gamma en agua	06/02/2007
	Determinación de uranio en agua por fluorimetría	27/03/2008
	Determinación de trazas de uranio con equipo KPA	
	Determinación de tritio en agua por centelleo líquido	26/03/2009
Dosimetría Física	Calibración de detectores de campo de radiación	23/03/2009
Dosimetría Biológica	Dosimetría biológica (citogenética)	25/02/2010

El Laboratorio de Control Ambiental cumplió su primer ciclo de acreditación y tras las evaluaciones correspondientes con nuevo evaluador, para todos los ensayos, fue reacreditado el 25 de febrero de 2011 por otro ciclo de cuatro años. En tanto que las técnicas restantes están en proceso de implementación para su posterior acreditación. A los efectos del aseguramiento de la calidad de las calibraciones y mediciones y con el fin de producir resultados comparables, los laboratorios participan habitualmente en ejercicios de intercomparación con otros laboratorios internacionales y operan con patrones certificados para asegurar la trazabilidad de sus resultados a patrones primarios.