

La Autoridad Regulatoria Nuclear -como institución del Estado Argentino dedicada al control y fiscalización de la actividad nuclear- tiene como propósito establecer, desarrollar y aplicar un régimen regulatorio para todas las actividades nucleares que se realicen en la República Argentina. Este régimen tiene los siguientes objetivos:

- Sostener un nivel apropiado de protección de las personas contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.
- Mantener un grado razonable de seguridad radiológica y nuclear en las actividades nucleares desarrolladas en la República Argentina.
- Asegurar que las actividades nucleares no sean desarrolladas con fines no autorizados por la ley y las normas que en su consecuencia se dicten, así como por los compromisos internacionales y las políticas de no proliferación nuclear asumidos por la República Argentina.
- Prevenir la comisión de actos intencionales que puedan conducir a consecuencias radiológicas severas o al retiro no autorizado de materiales nucleares u otros materiales o equipos sujetos a regulación y control.

Estos objetivos son alcanzados a través de la implementación de un sistema de regulación basado en:

- Una planificación anual regular de sus Actividades y Proyectos.
- Un marco normativo compuesto por normas y guías regulatorias, además de regímenes específicos que deben cumplir los usuarios que trabajan con radiaciones ionizantes.
- Un Plan de Inspecciones y Evaluaciones en Seguridad Radiológica y Nuclear, Salvaguardias y Protección y Seguridad Física aplicado a más de 1500 instalaciones controladas distribuidas en todo el país.
- Un Sistema de Intervención en Emergencias Radiológicas y Nucleares operativo las 24 horas del día durante todo el año.
- Un plan de monitoreo de descargas de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos de las instalaciones relevantes y de fiscalización de la gestión de residuos radiactivos generados.
- La operación de laboratorios especializados en radioquímica, en dosimetría física y biológica, en radiopatología y en medición de la contamina-

ción, en apoyo a las tareas de inspección, y monitoreo ambiental y control de descargas de efluentes y residuos radiactivos.

- La continua actualización del conocimiento necesario para efectuar evaluaciones de seguridad radiológica a fin de contribuir al proceso de mejora del accionar regulatorio.
- El mantenimiento de Acuerdos y Convenios con universidades, hospitales, fuerzas de seguridad y con organismos internacionales, con el objeto de optimizar esfuerzos y recursos en materia de seguridad radiológica.
- La capacitación permanente, tanto del personal de la ARN como de usuarios de material radiactivo y de agentes de instituciones involucradas directa o indirectamente con la acción de regulación.
- El cumplimiento de los compromisos derivados del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares, de la Convención sobre Seguridad Nuclear, de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, y otros compromisos internacionales relacionados con la Protección Física y las Salvaguardias de materiales e instalaciones.
- La participación activa de especialistas de la ARN en todos los comités técnicos del Organismo Internacional de Energía Atómica.
- La comunicación institucional de las acciones reguladoras y de las bases técnicas que las sustentan.

## Filosofía y estrategia global

De acuerdo a lo establecido por la legislación nacional vigente, la ARN es el órgano de regulación en materia de seguridad radiológica y nuclear, garantías de no proliferación, protección y seguridad física, y transporte de materiales radiactivos.

En este sentido, desarrolla sus misiones y funciones con el objetivo primordial de proteger a las personas, al medioambiente y a las generaciones futuras de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

En el ámbito de su competencia, la ARN es la institución del Estado Argentino dedicada al control y a la fiscalización de todas las actividades que involucran la utilización de materiales nucleares y/o radiactivos.

Desde esta perspectiva, como estrategia global, la modalidad que adquiere la implementación de la política regulatoria es mediante la conformación de un sistema de control a través del cual la seguridad radiológica y nuclear, las salvaguardias y no proliferación, la protección y seguridad física, y la política nuclear en materia regulatoria, se combinan matricialmente en las siguientes actividades troncales básicas:

- Elaboración y actualización de normas específicas.
- Evaluaciones técnicas independientes para el proceso de licenciamiento.

- Emisión de licencias, registros y autorizaciones de práctica para las instalaciones bajo control regulatorio.
- Emisión de permisos individuales, licencias individuales y autorizaciones específicas para el personal que trabaja con radiaciones ionizantes.
- Capacitación de los recursos humanos.
- Inspecciones y auditorías regulatorias.
- Desarrollos científico - tecnológicos en temas relativos al accionar regulatorio.
- Sanciones por incumplimiento a la normativa vigente.

En este contexto, la ARN tiene como visión ser una institución dotada de la más alta credibilidad, capaz de sentar las bases para que la sociedad argentina logre cultivar el concepto de protección, seguridad y uso pacífico de las radiaciones ionizantes en instalaciones radiactivas y nucleares, y empleo de fuentes de radiación. En el desarrollo de sus funciones, tiene como objetivo alcanzar el más alto nivel de excelencia profesional, comparable con los principales organismos reguladores del mundo, con quienes mantendrá una relación de continuo intercambio de conocimientos.

## Ramas regulatorias

### Seguridad radiológica y nuclear

La responsabilidad por la seguridad radiológica y nuclear de una instalación recae en la organización (propietaria u operadora) que se ocupa de las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación y retiro de servicio de la instalación nuclear de que se trate. Nada de lo que pueda suceder, y afecte a la seguridad, libera a esta organización, denominada Entidad Responsable, y al responsable designado por ella, de su responsabilidad en cada una de las etapas del proyecto.

Desde el punto de vista del proceso de licenciamiento, las instalaciones se clasifican en instalaciones Clase I, II y III, diferencia que se hace en base al riesgo radiológico y a la complejidad tecnológica asociados. Para las instalaciones de Clase I y II, la ARN otorga Licencias y para las instalaciones Clase III, Registros.

Las instalaciones Clase I requieren según las normas regulatorias vigentes, los siguientes tipos de autorización para ser licenciadas: Licencia de Construcción, Licencia de Puesta en Marcha, Licencia de Operación y Licencia de Retiro de Servicio.

Estas instalaciones deben operar con una Licencia de Operación y su personal debe poseer las correspondientes Licencias Individuales y Autorizaciones Específicas para ocupar posiciones que tengan una influencia significativa en la seguridad.

Para el licenciamiento de las personas que ocupan puestos en el organigrama de operación se extienden dos tipos de documentos regulatorios. Para poder cubrir una función importante con relación a la seguridad en una instalación determinada, la persona debe poseer, además de una licencia individual, una autorización específica, la cual debe ser solicitada por la Entidad Responsable. El postulante tiene que acreditar conocimientos específicos de la instalación de que se trate, un adecuado entrenamiento en el trabajo y una aptitud psicofísica apropiada.

Las instalaciones Clase II requieren una Licencia de Operación que se otorga a la institución responsable de la práctica con material radiactivo o radiaciones ionizantes. Adicionalmente se requiere que el responsable cuente con un permiso individual específico para una determinada práctica.

Las instalaciones fiscalizadas por la ARN tienen fines diversos tales como: la generación de electricidad, la fabricación de los elementos combustibles para reactores nucleares, la producción de radioisótopos, la producción de fuentes radiactivas, la esterilización de material médico y el uso y la aplicación de las radiaciones ionizantes en la medicina, en la industria y en la investigación básica y aplicada.

La complejidad de las instalaciones y el inventario radiactivo involucrado abarcan un amplísimo rango y su distribución geográfica cubre todo el país. De acuerdo al propósito de uso se exige a la instalación que cumpla con determinados requisitos de diseño, equipamiento y personal, previo a la autorización o licenciamiento de la operación.

Las actividades regulatorias llevadas a cabo por la ARN para controlar las instalaciones consisten en el análisis de documentación sobre aspectos de diseño y operación, en la evaluación permanente de la seguridad en operación y en la verificación, a través de inspecciones y auditorías regulatorias, del cumplimiento de la normativa vigente. Las tareas de análisis y evaluación son llevadas a cabo por personal especializado en seguridad radiológica y nuclear, con herramientas informáticas modernas para el manejo de la información, y familiarizado con el uso de códigos de cálculo para validar, con criterios propios y de manera independiente, la documentación suministrada por el operador.

La acción regulatoria de control se completa con un programa de inspecciones, rutinarias y no rutinarias, para el seguimiento de las tareas que hacen a la seguridad y a la verificación del cumplimiento de la licencia correspondiente.

Las inspecciones rutinarias están relacionadas con las actividades normales de la instalación, el monitoreo de procesos y la verificación del cumplimiento de la documentación mandatoria. En el caso de las centrales nucleares las mismas son llevadas a cabo, básicamente, por inspectores residentes en las instalaciones, sustentados técnicamente por los grupos de análisis y evaluación de la ARN o grupos que actúan para ésta mediante convenios o contratos.

Las inspecciones no rutinarias se realizan ante situaciones específicas, o cuando se hace necesario incrementar el esfuerzo de inspección. En estos casos intervienen especialistas en diversos temas pertenecientes a la ARN o a otras instituciones relacionadas con ésta.

Adicionalmente, elabora e implementa un plan de monitoreo y realiza mediciones y evaluaciones a fin de verificar los parámetros de la buena práctica, independientemente de aquellas que realiza la instalación.

## **Salvaguardias y no proliferación**

Otro aspecto del sistema regulatorio argentino lo constituye las salvaguardias y garantías de no proliferación nuclear, es decir, el conjunto de requerimientos y procedimientos aplicables tanto a los materiales nucleares como a los materiales, equipos e información de interés nuclear, con el fin de asegurar, con un grado razonable de certeza, que tales elementos no sean destinados a un uso no autorizado y que se observen adecuadamente los compromisos internacionales asumidos en la materia.

Las salvaguardias pueden ser nacionales o internacionales y estas últimas pueden tener carácter regional o global. Las salvaguardias nacionales están determinadas por lo prescrito dentro del marco regulatorio correspondiente a cada estado. Para la República Argentina, la ARN estableció los lineamientos del Sistema argentino de contabilidad y control de los materiales nucleares, y otros materiales, equipos e instalaciones de interés nuclear. Cuando se trata de las salvaguardias y garantías de no proliferación internacionales, su aplicación aparece directamente ligada a los compromisos de no proliferación de las armas nucleares que ha asumido el país. En este caso, las salvaguardias pueden ser aplicadas por organismos internacionales, de carácter regional o global, y tienen por objetivo detectar, en tiempo oportuno y con un grado razonable de certeza, que no se desvían “cantidades significativas” de materiales nucleares hacia fines proscritos por los acuerdos sobre cuya base son aplicadas.

Al respecto, cabe mencionar el “Acuerdo entre la República Argentina y la República Federativa del Brasil para el Uso Exclusivamente Pacífico de la Energía Nuclear” firmado en la ciudad de Guadalajara en 1991. Este acuerdo estableció un organismo denominado “Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares” (ABACC), cuya misión fundamental consiste en la aplicación del “Sistema común de contabilidad y control de materiales nucleares” con la finalidad de verificar que dichos materiales no sean desviados hacia la fabricación de armas u otros dispositivos nucleares explosivos.

Inmediatamente después de la entrada en vigencia del acuerdo bilateral, se firmó el Acuerdo entre los países, la ABACC y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para la aplicación de salvaguardias totales (Acuerdo Cuatripartito). Por este acuerdo, el OIEA se compromete a aplicar salvaguardias en ambos países a todos los materiales nucleares en todas las actividades nucleares de Argentina y Brasil, tomando como base al “Sistema común de contabilidad y control de materiales nucleares”.

## Protección y seguridad física

El objetivo de la ARN en materia de protección y seguridad física es prevenir con un grado razonable de certeza el robo, hurto, sustracción o dispersión indebida del material protegido, o bien, el sabotaje o intrusión de personas ajenas en una instalación o transporte, donde en razón de su inventario radiactivo, sea posible generar en ella accidentes con consecuencias radiológicas severas. En este sentido la ARN tiene la responsabilidad de exigir un sistema completo de protección física para las instalaciones y materiales nucleares, un sistema completo de seguridad física para las instalaciones radiactivas y fuentes selladas, y las medidas necesarias para asegurar la protección o seguridad física durante el transporte. Para lo cual establece requerimientos regulatorios a ser observados.

La protección y seguridad física se han convertido en motivo de interés y cooperación internacional.

La ARN desarrolla actividades vinculadas a la evaluación del diseño de los Sistemas de Protección y Seguridad Física, su aplicación, fiscalización y control, en el marco regulatorio vigente a partir de las normas AR 10.13.1. "Protección Física de Materiales e Instalaciones Nucleares" y AR 10.13.2. "Seguridad Física de Fuentes Selladas".

La actividad de la ARN en esta materia se complementa con un intenso programa de capacitación para organismos de seguridad y control, y personal de las instalaciones.

## Política Nuclear Regulatoria

La ARN asesora al Poder Ejecutivo Nacional en la formulación de la Política Nuclear en materia regulatoria, a nivel nacional e internacional, y ante la implementación de las líneas directrices, asegura su correcta aplicación.

Además, realiza recomendaciones a otras autoridades gubernamentales respecto a temas propios del accionar regulatorio.

La ARN interviene en la negociación de instrumentos internacionales relativos al accionar regulatorio nuclear, así como en su posterior implementación. Ejerce, al respecto, la representación del país en los distintos foros internacionales.

## 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 menores 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 relevantes, en las que se incluyen los aceleradores lineales para uso médico con  $E > 1$  MeV, las gestionadoras 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  $E < 1$  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 <sup>(*)</sup>	10
Plantas de producción de radioisótopos o fuentes radiactivas	4
Plantas de irradiación con altas dosis <sup>(**)</sup>	5
Instalaciones Clase I del ciclo de combustible nuclear	12
Instalaciones Clase II y III del ciclo de combustible nuclear	16
Área de gestión de residuos radiactivos de la CNEA	2
Complejos minero fabriles <sup>(***)</sup>	8
Centros de teleterapia	180
Centros de medicina nuclear	300
Instalaciones de gammagrafía	65
Aplicaciones industriales	301
Laboratorios de radioinmunoanálisis, investigación, y otros usos	595

(\*) Incluye al Instituto FLENI, que entró en operación recientemente.

(\*\*) 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 2010, agrupado en las distintas áreas de control regulatorio se presenta a continuación.

### Esfuerzo total de inspección

Área regulatoria	Días hombre
Seguridad radiológica y nuclear	3226
Salvaguardias	671
Protección y seguridad física	116

### Esfuerzo de inspección en seguridad radiológica y nuclear

Tipo de instalación	Días hombre
Reactores nucleares	1740
Instalaciones radiactivas Clase I	654
Aplicaciones médicas, industriales y de investigación y docencia	832

### Esfuerzo de inspección en salvaguardias

Tipo de instalación	Días hombre
Reactores nucleares	410
Instalaciones radiactivas Clase I e investigación y desarrollo	261

### Esfuerzo de inspección en protección y seguridad física

Tipo de instalación	Días hombre
Reactores nucleares	44
Instalaciones radiactivas relevantes	87
Instalaciones radiactivas Clase II	28

Con respecto al transporte de material radiactivo, durante el año 2010 se han realizado 16 inspecciones de transporte.

Por su parte, 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 2010, a 12 inspectores de la ARN que cumplieron inspecciones en instalaciones brasileñas totalizando un conjunto de 187 días hombre de inspección. Además 7 inspectores de la ARN participaron en cursos de perfeccionamiento.

Durante el año 2010, la ARN emitió las licencias, permisos, autorizaciones y demás certificados regulatorios detallados a continuación:



Tipo de documento regulatorio	Cantidad
Licencias individuales	95
Autorizaciones específicas individuales	319
Licencias de operación (Clase II)	243
Permisos individuales	563
Certificados de transporte	8
Registros individuales	102
Registros institucionales	70
Autorizaciones de importación	571
Autorizaciones de exportación	980

### 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, según el procedimiento “Reconocimiento de Cursos y Carreras Externos que Acrediten Formación Teórica para el Otorgamiento de Permisos Individuales en Instalaciones Radiactivas Clase II y III”, agrupados por Instituciones prestadoras de todo el país.
- Se iniciaron y/o continuaron acciones de reconocimiento de las Residencias Médicas en Radioterapia Oncológica de la Fundación Marie Curie y del Hospital Italiano - Mevaterapia, de la Licenciatura en Física Médica de la Universidad Nacional de La Plata y del Curso de Radiotrazadores y Radioquímica para Investigadores de la Fundación Escuela de Medicina Nuclear.
- La Gerencia de Seguridad Radiológica, Física y Salvaguardias finalizó la revisión interna de los contenidos mínimos para los cursos de Dosimetría en Radioterapia y Metodología y Aplicación de Radionucleidos. Actualmente dichos contenidos están siendo evaluados por los revisores internos extra-gerencia designados.
- Se reconocieron por Resolución de Directorio los cursos de Actualización en Protección Radiológica para Médicos Radioterapeutas organizados por la Fundación Marie Curie, dictado en la ciudad de Córdoba y por la Asociación Médica Argentina (AMA) en colaboración con la Sociedad Argentina de Terapia Radiante Oncológica -SATRO, dictado en Buenos Aires.

## 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 2010 el Directorio de la ARN aplicó las siguientes sanciones debido a infracciones a la normativa regulatoria vigente:

Resolución N°	Fecha	Tipo de sanción
10/10 26/10 57/10 120/10	26/01/10 17/03/10 15/05/10 29/09/10	Multas
48/10	23/04/10	Apercibimientos

## Licenciamiento y control de reactores nucleares

Las tareas cumplidas en el año 2010 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, habiéndose efectuado una reevaluación integral de todos los aspectos concernientes a la Licencia de Construcción, de modo de asegurarse que el diseño de la planta y la finalización de su construcción satisfagan los requisitos exigibles actualmente a una instalación de ese tipo.

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

## Central Nuclear Atucha I (CNA I)

### Fiscalización

Durante el año 2010, 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 tareas regulatorias más importantes se debe destacar el control efectuado durante las 4 (cuatro) salidas de servicio que por diversos motivos tuvo la Central Nuclear.

### Licenciamiento

En relación con el Proyecto de Extensión de la Vida Útil de la CNA I, y en particular a la aptitud del Recipiente de Presión para dicho objetivo, es necesario evaluar la integridad estructural del recipiente de presión frente a la ocurrencia de un choque térmico presurizado y la resistencia a la fractura frágil en aquellas zonas críticas como las boquillas cuyo mecanismo de degradación dominante es la fatiga térmica.

Al respecto la ARN está realizando estudios independientes. En conjunto con el Laboratorio Nacional Oak Ridge (ORNL) se realizó una primera evaluación de la integridad estructural del recipiente frente a la ocurrencia de un Choque Térmico Presurizado.

En relación con el pedido realizado por Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA) de extender las paradas programadas de 12 a 18 meses para realizar tareas de mantenimiento y pruebas periódicas, esta ARN, con el asesoramiento del Gesellschaft für Anlagen-und Reaktorsicherheit (GRS) de Alemania, evaluó la revisión del Análisis Probabilístico de Seguridad Nivel 1. También se realizaron otras evaluaciones complementarias. En función de los resultados de dichas evaluaciones se autorizó, como excepción, postergar la parada programada prevista para noviembre de 2010 hasta marzo de 2011.

## Central Nuclear Embalse (CNE)

### Fiscalización

Durante el año 2010, 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 5 (cinco) salidas de servicio que por diversos motivos tuvo la Central Nuclear.

### Licenciamiento

Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA) se encuentra desarrollando tareas de Reacondicionamiento y Extensión de Vida de la Central Nuclear de Embalse.

En el transcurso del presente año se finalizó con la Fase I del Proyecto de Extensión de Vida (PEV), de la cual surgieron recomendaciones que fueron ponderadas teniendo en cuenta los siguientes criterios: Sistemas de Seguri-

dad y relacionados con la Seguridad, Cambios de diseño, Disponibilidad de la Planta en Plena Potencia e Impacto en el Cronograma de la Parada de Reacondicionamiento; las que serán aplicadas en tres etapas: antes, durante y después de la Parada de Reacondicionamiento.

En el marco del PEV, durante el año 2010 se realizaron las siguientes actividades:

- Evaluación del Estado de 14 grandes sistemas ó componentes relevantes para la seguridad. Categorización de las recomendaciones desde el punto de vista regulatorio.
- Estudios realizados con el asesoramiento de la Universidad de New Brunswik correspondiente a los informes de Análisis Probabilístico de Seguridad (APS) Nivel 1 a Baja Potencia y en Parada, y APS de Incendio.
- Evaluación de la metodología y alcance del APS Nivel 2 a realizar en la CNE utilizando el código MAAP 4.
- Evaluación de la metodología a aplicar para los estudios de Margen Sísmico basado en APS.

## Central Nuclear Atucha II (CNA II)

### Licenciamiento

Teniendo en cuenta que la central comenzó a construirse en la década de 1980, el lento avance de la misma durante la década de 1990 y la decisión del Gobierno Nacional de relanzar la actividad nuclear a partir de 2006, se continuó con la actualización de la Licencia de Construcción. En tal sentido, se mantuvieron activas las tareas relacionadas con la revisión, análisis y reevaluación del diseño original a luz de los conocimientos actuales y las modificaciones que el titular de la licencia proponga.

Durante 2010 se trabajó principalmente en las siguientes áreas:

- Actualización de la Licencia de Construcción – Puntos relevantes:
  - Durante 2010 se avanzó fundamentalmente en dos puntos relevantes: el relacionado con el sistema de inyección de boro y el concepto de rotura adoptado en la base de diseño.
  - En relación al sistema de inyección de boro, se realizó un modelo empleando el código RELAP5 a los efectos de verificar el tiempo de inyección para el sistema original tal como fuera propuesto por KWU en 1981. Adicionalmente, la Universidad de Purdue (EE. UU.) desarrolló, para la ARN, una facilidad experimental de una parte del sistema de inyección de boro para validar el modelo en RELAP5. Los resultados obtenidos permiten concluir que la ARN cuenta con un modelo validado que le permitirá realizar los cálculos independientes requeridos para el licenciamiento de la CNA II.
  - En base a un requerimiento regulatorio de esta ARN, el sistema de inyección de emergencia de boro está siendo modificado con el objetivo de mitigar las consecuencias de accidentes más allá de las bases de diseño.

- Teniendo en cuenta que la demostración del comportamiento del concepto de rotura es uno de los requisitos del diseño de la CNA II, se avanzó en la definición de las tareas necesarias para evaluar de manera independiente y conjunta dicho requisito.
- Fiscalización de las actividades de construcción y montaje en la obra:
  - Durante 2010 se trabajó activamente en las inspecciones y fiscalizaciones de las actividades de construcción y montaje. Estas inspecciones fueron realizadas por profesionales de la ARN conjuntamente con expertos del TÜV y abarcaron las áreas de Mecánica, Civil, Instrumentación y Control y Eléctrica.
  - En todos los casos, durante las inspecciones y fiscalizaciones se verificó la implementación y cumplimiento de las medidas del Manual de Calidad (QAP 115) por parte de la Unidad de Gestión CNA II de NA-SA.
- Evaluaciones de Ingeniería:
  - Se continuó la revalorización de la amenaza sísmica, en conjunto con la Universidad Nacional de San Juan, incluyendo la confección de los espectros para ser empleados en la verificación sísmica de los sistemas, estructuras y componentes relevantes para la seguridad de la CNA II.
  - Como resultado del uso de la experiencia operativa de la Central Nuclear Atucha I, la ARN recomendó a la Entidad Responsable la redefinición del Programa de Vigilancia del Recipiente de Presión de la CNA II. En respuesta, la Entidad Responsable presentó un conjunto de documentos técnicos conteniendo el nuevo diseño del Programa de Vigilancia.
- Puesta en Marcha:
  - Se evaluó la presentación preliminar del Manual de Puesta en Marcha, juntamente con expertos del TÜV.
- Revisión del Informe Final de Seguridad:
  - Durante 2010 se elaboró, con la colaboración del GRS (Gesellschaft für Anlagen-und Reaktorsicherheit), un documento conteniendo los lineamientos para la redacción del Informe Final de Seguridad, el cual fue remitido a la Entidad Responsable. Este documento fue realizado siguiendo lineamientos internacionalmente reconocidos, tales como la Reg Guide 1.70 (EE. UU.), recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica y la experiencia obtenida por el GRS en los reactores de tipo Konvoi de Alemania.
  - Se continuó con la evaluación del informe final de seguridad a medida que fue entregado por NA-SA.
- Evaluaciones del Análisis Probabilístico de Seguridad Nuclear:
  - Se organizó un taller sobre “Evaluación de la Confiabilidad Humana” (Human Reliability Assessment) junto con NA-SA, CNEA y GRS. Este seminario fue orientado a permitir el intercambio de información y mejorar el conocimiento para permitir incluir el tratamiento del riesgo por factor humano en el Análisis Probabilístico de Seguridad (APS) Nivel 1 de la Central Nuclear Atucha II.

- Se continuó con la revisión del APS de Nivel 1, el cual es la base para los APS de niveles 2 y 3, que son necesarios para demostrar que el diseño de la CNA II satisface el criterio argentino de aceptación establecido en la norma AR 3.1.3, así como cumplir con los objetivos de seguridad internacionalmente recomendados. NA-SA, con su contratista CNEA, continúa desarrollando el APS de Nivel 1 y durante el 2010 entregó a la ARN los análisis correspondientes a los eventos iniciantes, con una primera estimación de la FDN. Para la revisión del APS de Nivel 1, la ARN contrató desde su inicio al GRS de Alemania. La asistencia y revisión sigue siendo realizada de manera continua, a medida que está disponible el material para la revisión. Se han identificado hallazgos que fueron informados a NA-SA para su tratamiento y corrección.
- NA-SA, con su contratista internacional, continuó desarrollando el APS Nivel 2 y la ARN, con el soporte técnico del Laboratorio Nacional de SANDIA de EE. UU. (SNL), continuó realizando su revisión de manera continua, a medida que está disponible el material para su revisión. En los casos identificados como representativos, durante el año 2010 se realizaron evaluaciones independientes. También durante el año 2010 se realizó una reunión entre NA-SA y ARN junto a sus correspondientes asesores para discutir el avance de las tareas y los resultados obtenidos, lo cual permitió mejorar el modelo desarrollado, clarificar las discrepancias identificadas y definir nuevas evaluaciones. La información suministrada permitió identificar muchas fortalezas del diseño de Atucha II, así como la posibilidad de implementar mejoras, algunas de las cuales están bajo estudio.

La insuficiencia de profesionales de alta especialización luego de casi 25 años de muy escasa actividad en el campo de la Seguridad Nuclear aplicada al licenciamiento de nuevas centrales nucleares, obligó a continuar con la contratación de expertos del país y del exterior para asesorar y completar las tareas de análisis y evaluación, conjuntamente con los profesionales de la ARN. Los contratos implican una transferencia de conocimiento y a través de los mismos se está recibiendo capacitación “on the job”.

Las organizaciones convocadas son:

- GRS (organismo regulador a nivel federal del gobierno alemán), para evaluaciones de seguridad.
- TÜV (organismo de inspección del gobierno alemán a nivel federal), para las evaluaciones de inspecciones e ingeniería.
- BATTELLE (organismo que agrupa a varios laboratorios nacionales de EE. UU., pertenecientes al Departamento de Energía), para realizar cálculos independientes a nivel de estructuras, cañerías y componentes.
- Universidad de Purdue de EE. UU., para realizar estudios con códigos de cálculos independientes en el área de termo hidráulica, y en el análisis de accidentes.
- Universidad de Michigan de EE. UU., para realizar estudios con códigos de cálculos independientes en el área de neutrónica, como así también en el análisis de accidentes.

- Universidad de Carolina del Norte de EE. UU., conjuntamente con la Universidad de San Juan de la República Argentina, para efectuar las evaluaciones sísmicas correspondientes.
- Laboratorio Nacional Sandia de EE. UU., para la revisión de los Análisis Probabilísticos de Seguridad Niveles 2 y 3 de Atucha II, formación de personal de ARN y cálculos independientes.
- Laboratorio Nacional Oak-Ridge de EE. UU., para la evaluación de vida del Recipiente de Presión de la CNA I.
- INVAP S.E., para el desarrollo de códigos neutrónicos.
- Universidades Nacionales: Austral, del Litoral y La Matanza.

## CAREM

### 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.

En diciembre de 2009, CNEA envió a esta ARN una versión en desarrollo del Informe Preliminar de Seguridad (IPS) del reactor CAREM 25. Se realizó una primera revisión de dicho documento con la asistencia de expertos del GRS de Alemania.

En mayo de 2010, CNEA envió un documento técnico con el Estudio de Riesgos y el Análisis Probabilístico de Seguridad (contenido del capítulo 15 del IPS) que no había sido presentado en la entrega anterior de diciembre.

Teniendo en cuenta el estado avance del diseño del proyecto CAREM y las características especiales a tener en cuenta para el licenciamiento de un prototipo de reactor, la ARN elaboró un procedimiento de licenciamiento aplicable al CAREM y en agosto de 2010 comunicó a CNEA esta decisión.

De acuerdo con este procedimiento y a los efectos de solicitar la Autorización para la Utilización del Sitio y Construcción, la CNEA está enviando información sobre:

- Impacto radiológico al medio ambiente.
- Gestión de residuos radiactivos prevista.
- Programa de garantía de calidad.
- Diseño, incluyendo el cumplimiento de las pautas de seguridad.
- Cronograma previsto de tareas del proyecto.
- Viabilidad de los planes de emergencia.

La información que fue recibida está en proceso de revisión por la ARN.

Además, se han aplicado recursos en capacitación, entrenamiento, herramientas informáticas de análisis y en equipos, que resultarán útiles en las tareas de revisión del proyecto.

## Complejo Tecnológico Pilcaniyeu

En el marco de la reactivación del Plan Nuclear Argentino, la Comisión Nacional de Energía Atómica informó a la ARN su intención de reanudar las actividades de enriquecimiento por difusión gaseosa en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu. Para ello, se ha avanzado durante el año 2010 en el reacondicionamiento del laboratorio Mock Up de la Planta de Enriquecimiento de Pilcaniyeu, el que se espera poner en funcionamiento durante 2011.

Este proceso básicamente consiste en el reemplazo de equipos obsoletos, reacondicionamiento de válvulas, cañerías e intercambiadores de calor, desarrollo e implementación de lógicas de control modernas y diseño de una nueva estación de alimentación y retirada. Todas estas modificaciones se efectúan poniendo énfasis en la preservación del medio ambiente y en los aspectos de seguridad.

Por otra parte, la ARN licenció el laboratorio y al personal de la empresa INVAP S.E. que implementó un proceso de conversión vía seca que permite transformar el Hexafluoruro de Uranio en Dióxido de Uranio con calidad adecuada para la fabricación de pastillas de elementos combustibles. Este laboratorio ya recibió material nuclear y la ARN fiscaliza su operación.

## Proyecto RA 10

### Licenciamiento

La ARN ha efectuado los avisos correspondientes al sector salvaguardias del OIEA, a raíz de la presentación que ha realizado CNEA informando que se están desarrollando los estudios de factibilidad a fin de construir un reactor, el RA 10, con fines de investigación y de producción de radioisótopos.

## 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 2010, se realizaron numerosas jornadas de capacitación de respuestas en emergencias radiológicas y nucleares:

#### **Simulacro Central Nuclear Embalse**

Se desarrolló el Ejercicio de Aplicación N° 28 del Plan de Emergencia de la Central Nuclear Embalse (Simulacro CNE - 2010) 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° 24.776). El simulacro se desarrollo en las loca-

lidades de Villa del Dique y Villa Rumipal, Provincia de Córdoba, el día 18 de noviembre de 2010.

En este marco, la Autoridad Regulatoria Nuclear (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 CNE 2010 incluyó, como elemento relevante, la participación de los pobladores en los alrededores de la CNE aplicando las acciones de protección correspondientes. En dicho Simulacro participaron alrededor de 20 instituciones diferentes, se acreditaron unas 120 personas entre observadores, invitados extranjeros y periodistas. En los distintos escenarios intervinieron más de 160 personas, en calidad de actores y facilitadores-evaluadores. Respecto de la participación del público, alrededor de 1000 alumnos de las distintas escuelas involucradas practicaron la puesta a cubierto y profilaxis con yodo estable. Por otra parte, en la primera fase del reparto de pastillas de yodo estable, éstas fueron recibidas en mano por más del 80% de la población de Villa del Dique y Villa Rumipal, (más de 8 000 habitantes). Así mismo, 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 ambas localidades.

Las principales organizaciones que participaron del simulacro en forma activa fueron: Central Nuclear Embalse, Defensas Civiles (Municipalidades de Villa del Dique y Villa Rumipal), Escuadrón Embalse de la Gendarmería Nacional, Policía de la Provincia de Córdoba, Bomberos Voluntarios de Villa del Dique y Villa Rumipal, medios locales de difusión e instituciones educativas y el Servicio Meteorológico Nacional.

El resultado del Simulacro CNE 2010 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 2010 en las siguientes oportunidades:

- Robo y recuperación de un equipo medidor de densidad y humedad de suelos marca Troxler conteniendo fuentes radiactivas pertenecientes a la empresa Halliburton Argentina S.A. en el trayecto al Yacimiento El Corcobo en la Provincia de Neuquén. El equipo recuperado fue depositado en las instalaciones autorizadas de la empresa en su base de Neuquén.
- Aplastamiento durante un control no intrusivo de un vehículo en el Puente Internacional Tancredo Neves - Aduana de Puerto Iguazú, de un detector con fuente de bario 133 usado para el control de contrabando. Se procedió a retirar el equipo con la carcasa dañada y se lo colocó en una caja de plomo, embalada adecuadamente, para su posterior trasla-

do al Área Gestión de Residuos del Centro Atómico Ezeiza de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

- Robo de un vehículo en la ciudad de Córdoba transportando un equipo Troxler conteniendo fuentes radiactivas para medición de densidad y humedad de suelos. Se recupera posteriormente por la Policía el mismo día. El equipo se encontraba sin señales de haber sido utilizado y en perfecto estado.
- Denuncia de un vecino de la ciudad de Buenos Aires del hallazgo de una fuente de calibración de cobalto 60. Ante esta situación se decidió el decomiso de la misma para su gestión como residuo radiactivo.
- Derrame de acero en el Sector de Colada Continua de la empresa Acindar en Villa Constitución, Santa Fe, afectando un equipo Berthold conteniendo una fuente de cobalto 60. El personal de la empresa actúa según los procedimientos para estos casos y gestiona el equipo y la fuente como residuo radiactivo.
- Extravío y recuperación de un equipo de gammagrafía industrial, conteniendo una fuente radiactiva de iridio 192, propiedad de la empresa Bonefro S.A., mientras era transportado en un vehículo desde Comodoro Rivadavia hacia la localidad de Rada Tilly en Chubut. Gracias a la amplia difusión del hecho en los medios de comunicación locales, un vecino avisa haber encontrado el equipo en un sector de la ciudad cercano al Parque Industrial. El personal de la empresa constató que el equipo se encontraba en perfectas condiciones.
- Contaminación accidental al caerse una jeringa con una solución conteniendo material radiactivo y diseminar parte del líquido contenido en ella en la ropa y la cara del técnico de la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear, de la ciudad de Buenos Aires. La persona involucrada se lavó rápidamente la cara, retiró sus ropas y finalmente se bañó, disminuyendo la contaminación. No se registraron síntomas de relevancia.
- Asalto y robo de un equipo de gammagrafía propiedad de Ingeniería y Servicios Bendini S.A. mientras estaban trabajando en la empresa El Emporio del Tanque, en Bernal Oeste, partido de Quilmes, Provincia de Buenos Aires. Se procedió a realizar las tareas de rescate de la fuente en cuestión, siguiendo los procedimientos de la empresa y los establecidos por la ARN para este tipo de situaciones.

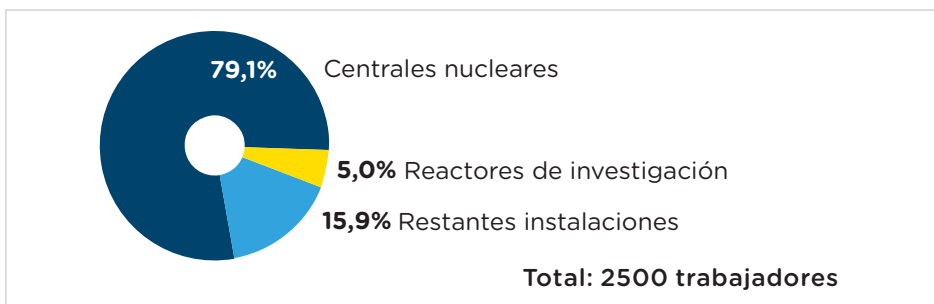
## Vigilancia radiológica ocupacional

### 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 2010. Se presenta el análisis de las distribuciones de dosis individuales y de las dosis colectivas correspondientes.

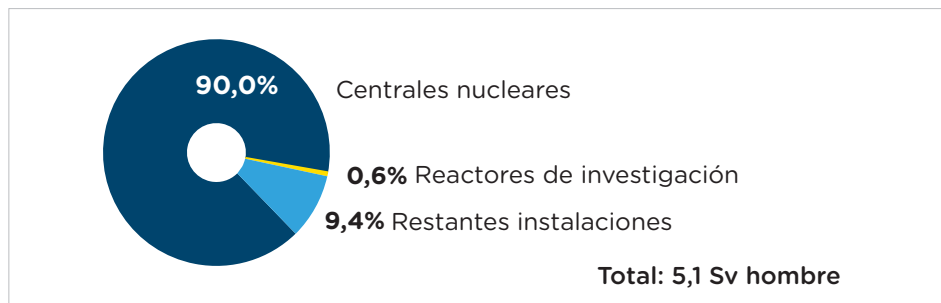
Las dosis, informadas por las instalaciones, corresponden a mediciones individuales de exposición a la radiación externa realizadas con dosímetros termoluminiscentes; y estimaciones de dosis debidas a contaminación interna, a partir del análisis de muestras de orina y con mediciones realizadas en contador 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 79% y el 90%, respectivamente.



**Figura 1.**  
Distribución de trabajadores controlados en instalaciones relevantes

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

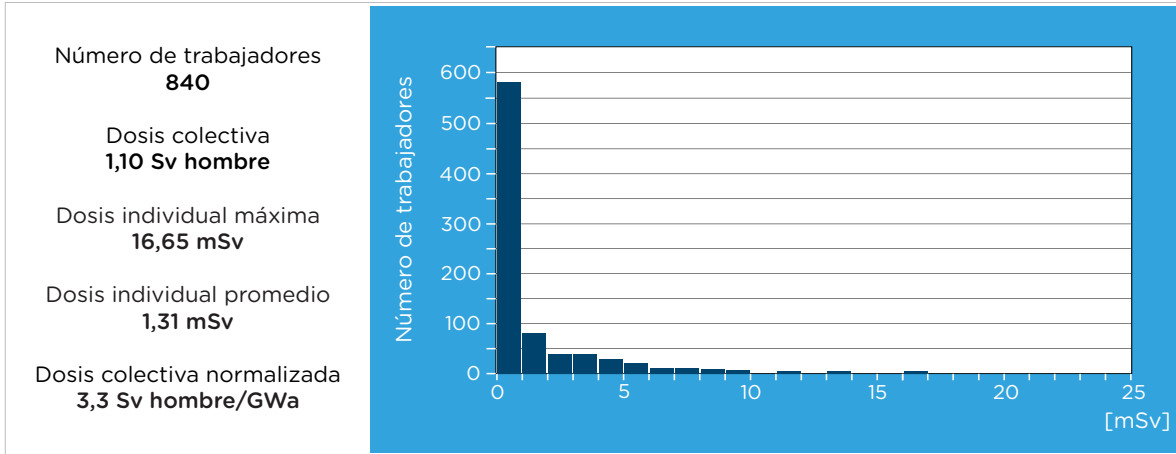


La **Figura 3** presenta la distribución de dosis individuales recibidas por los trabajadores de la Central Nuclear Atucha I durante 2010. En la misma puede observarse que todos los trabajadores recibieron una dosis individual menor que 17 mSv, y el 50% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 1 mSv.

En el año 2010 la CNA I no efectuó parada programada para mantenimiento.

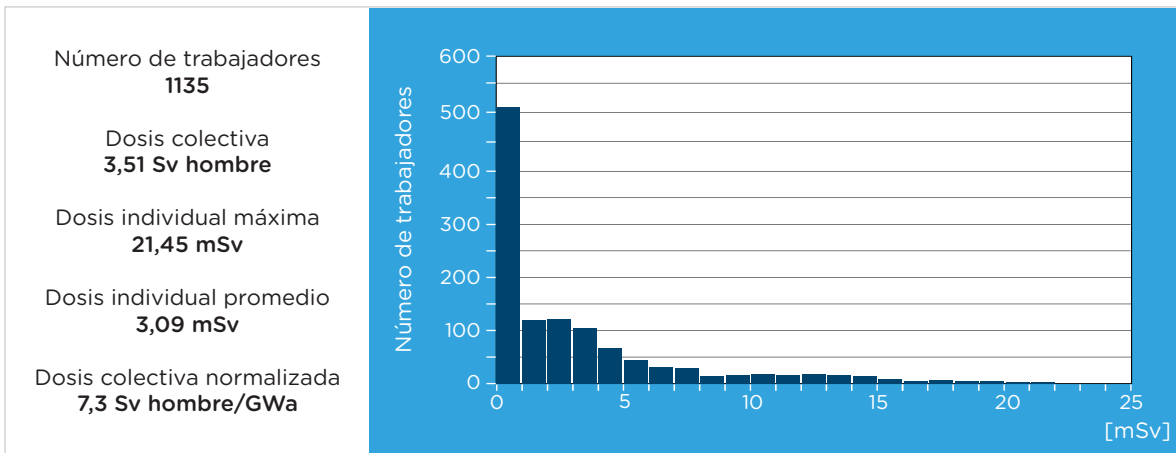
En la **Figura 4** se presenta la distribución de dosis individuales de los trabajadores de la CNE correspondiente a 2010. De la misma surge que ningún trabajador recibió una dosis individual anual superior a 22 mSv. El 50% de ellos recibió una dosis individual anual menor que 2 mSv.

Durante 2010 la CNE efectuó una parada programada para mantenimiento preventivo y correctivo de 6 semanas de duración y una parada planificada, en el mes de diciembre, para el cambio de canales de los elementos combustibles. En el desarrollo de las tareas de la parada programada se recibió el 67% 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. En la parada planificada se recibió el 20% de la dosis colectiva anual total.



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

Con respecto a las dosis individuales acumuladas en el quinquenio (2006/2010), contabilizando las dosis recibidas en todas las instalaciones, todos los trabajadores recibieron menos de 20 mSv promedio anual.



**Figura 4. Central Nuclear Embalse - Distribución de dosis individuales**

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	1,10	3,3	21	0,338
Central Nuclear Embalse	3,51	7,3	28	0,481

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

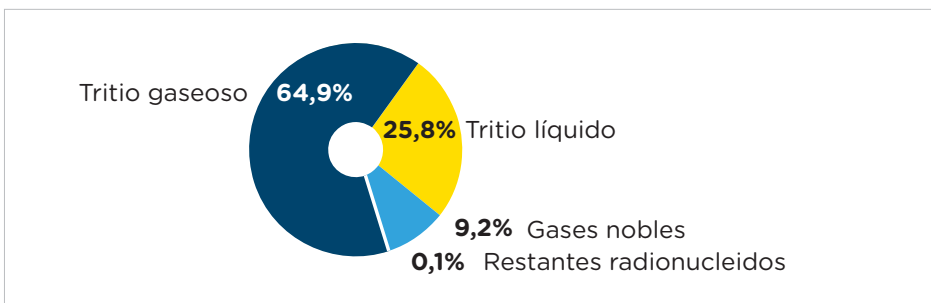
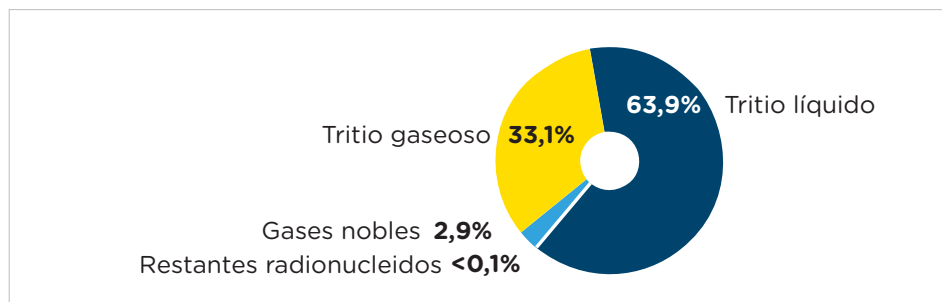
	Dosis promedio mSv	Dosis individual máxima mSv	Número de trabajadores
Central Nuclear Atucha I	1,3	16,65	840
Central Nuclear Embalse	3,1	21,45	1135

### 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 2010.

Las Figuras 5 y 6 muestran la composición de las descargas 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 el 97% para la CNA I y 91% para la CNE.

**Figura 5. CNA I**  
Composición de las descargas al ambiente

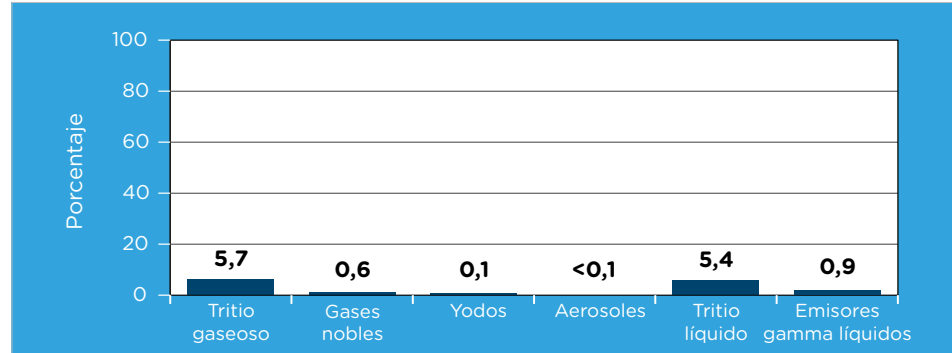


**Figura 6. CNE**  
Composición de las descargas al ambiente

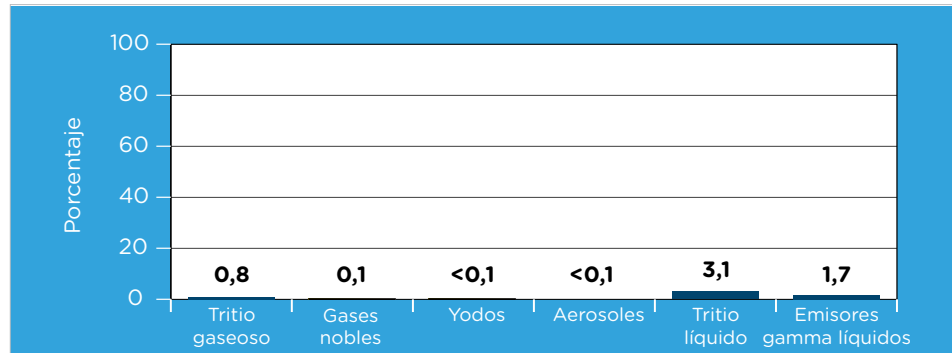
La ARN, adoptando un criterio conservativo, ha fijado para las restricciones anuales de descarga de efluentes radiactivos al ambiente, valores que corresponden a una dosis en el grupo crítico menor que la restricción de dosis establecida para diseño en la normativa argentina, en 0,3 mSv.

Las Figuras 7 y 8 muestran la fracción de la restricción anual que descargaron al ambiente las centrales nucleares durante 2010, 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



Nota: Como se puede observar todos los valores de descarga son menores al 6% de la restricción anual permitida.

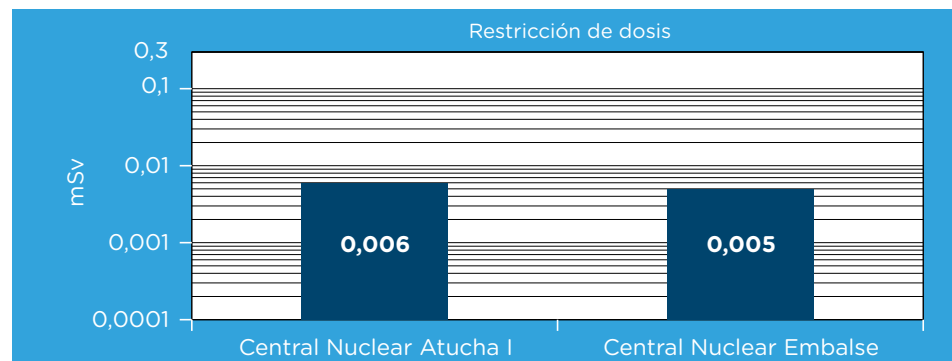
## Dosis en la población

### 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.

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.

**Figura 9.**  
Centrales Nucleares.  
Dosis en el grupo crítico



### 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	0,25	0,65	0,90
Central Nuclear Embalse	0,02	0,14	0,16

La dosis colectiva global normalizada con la energía generada, debido a las descargas de tritio, resultaron 1,0 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 realizado, se lleva a cabo en forma totalmente independiente del que realizan las distintas instalaciones. Adicionalmente, esta tarea permite responder a inquietudes de la opinión pública sobre el tema.

Las instalaciones, alrededor de las cuales la ARN ha efectuado monitoreos radiológicos ambientales durante el año 2010 son: las centrales nucleares de NA-SA: Atucha I (Provincia de Buenos Aires) y Embalse (Provincia de Córdoba); el Centro Atómico Ezeiza (Provincia de Bs.As.); 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 Mendoza), los Ex Complejos Mineros 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**.

Se efectuó, además, 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) en las muestras ambientales.





**Figura 10.**  
Instalaciones  
bajo control  
ambiental

Asimismo, la ARN lleva a cabo un plan de medición de gas radón en el interior de viviendas de la República Argentina.

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.

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.

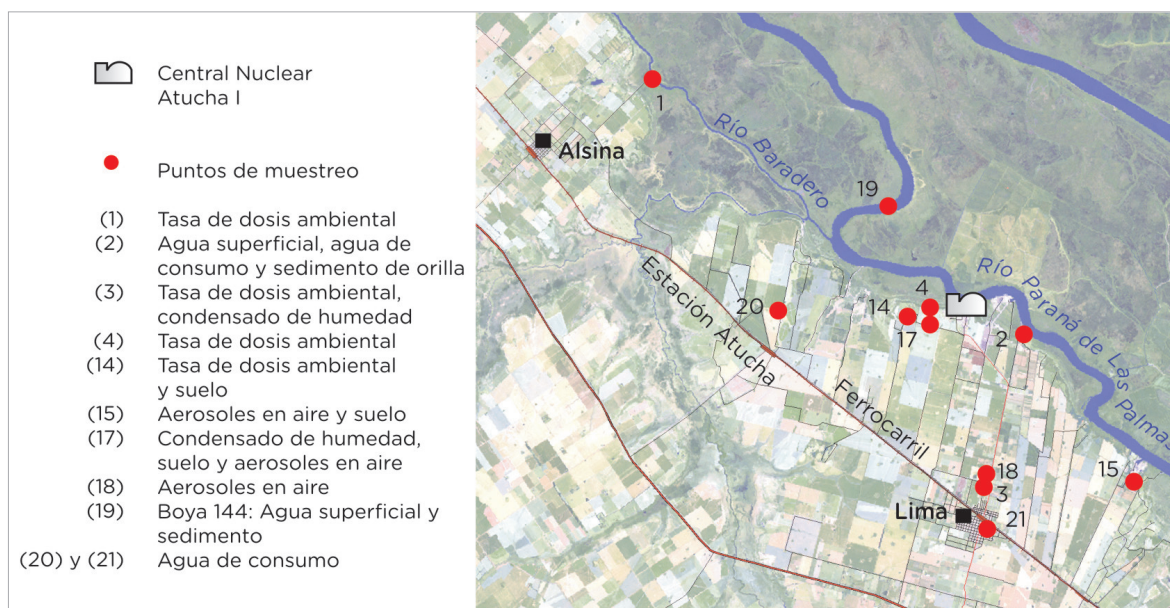


Figura 11. Central Nuclear Atucha (Provincia de Buenos Aires)

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.

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 marca Ering, 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, unos 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 la 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 pooles trimestrales. La determinación de alfa-beta total 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 monitoreo 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 muestras composite 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 (CNA15, 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 el aire es recolectada en un filtro de muestreo. Los radionucleidos analizados fueron: cobalto 60, yodo 131, cesio 137, estroncio 90 y uranio natural. Se han medido también los radionucleidos naturales potasio 40, torio 232, radio 226 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 central 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, a una geometría normalizada a los detectores gamma utilizados. El análisis de uranio se realizó por espectrometría alfa.

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 "Alfa/beta total" 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 alfa o beta total superaron los niveles de cribaje, se analizaron los radionucleidos individuales correspondientes.

Durante el año 2010 se tomaron en total 232 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
Aerosoles totales en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual
	estroncio 90		
	uranio natural		
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Leche de vaca de la zona	yodo 131	semanal	mensual
	tritio		pool trimestral
	emisores gamma estroncio 90		
Suelos	emisores gamma estroncio 90	Semestral	semestral
	tritio	mensual (verduras de hoja y frutas)	mensual
Alimentos (vegetales cosechados en la zona)	emisores gamma estroncio 90	mensual (verduras de hoja, verduras de raíz, otras verduras, frutas)	pool semestral
	tritio	mensual (aguas abajo) trimestral (aguas arriba)	mensual trimestral
Agua del Río Paraná	emisores gamma estroncio 90	mensual (aguas abajo) trimestral (aguas arriba)	pool trimestral trimestral
	emisores alfa - beta tritio	trimestral	trimestral
	emisores gamma estroncio 90	mensual	mensual pool trimestral
Agua de consumo humano (agua subterránea)	emisores alfa - beta	trimestral	trimestral
	emisores gamma estroncio 90	trimestral	trimestral
	emisores alfa - beta	trimestral	trimestral
Sedimentos de río (fondo y orilla)	emisores gamma estroncio 90 (sólo sedimentos de fondo)	semestral	semestral
	emisores gamma estroncio 90	semestral	semestral

(\*) 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 CNA19)						
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	na	0,17
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,50	0,23
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	<LD	<LD
N° muestras analizadas	4	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0	1	3
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,03; cobalto 0,03; estroncio 0,01; $\alpha$ total 0,03; $\beta$ total 0,24						
aguas abajo de CNA I - Grupo representativo (punto CNA2)						
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	0,04	0,14
Máximo (Bq/l)	244	<LD	<LD	<LD	0,05	0,17
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	<LD	0,12
N° muestras analizadas	10	4	4	4	3	3
N° análisis > LD	1	0	0	0	2	3
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,09; cobalto 0,09; estroncio 0,03; $\alpha$ total 0,05						

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

Concentración de actividad en sedimentos del Río Paraná					
aguas arriba de CNA I (punto CNA19)					
	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)	2,4	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na	na	na
N° muestras analizadas	2	2	2	2	2
N° análisis > LD	1	0	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 1,0; cobalto 0,6; estroncio 1,2					
aguas abajo de CNA I - grupo representativo (punto CNA2)					
	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	2,0	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	<LD	na	na
N° muestras analizadas	2	2	2	2	2
N° análisis > LD	0	0	1	0	0
LD (Bq/kg): cesio 1,0; cobalto 1,0; estroncio 1,4					

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

Concentración de actividad en aguas de consumo humano (proveniente de aguas subterráneas)						
aguas arriba de CNA I (punto CNA20)						
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	0,27	0,57
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,32	0,64
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	0,23	0,46
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,02; cobalto 0,01; estroncio 0,01						
aguas abajo de CNA I (punto CNA2)						
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	0,11	0,25
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,12	0,33
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	0,08	0,20
N° muestras analizadas	10	4	4	4	3	3
N° análisis > LD	0	0	0	0	3	3
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,07; cobalto 0,05; estroncio 0,03						
punto de interés público (punto CNA21)						
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na	0,18	0,38
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD	0,19	0,41
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na	0,17	0,31
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,02; cobalto 0,02; estroncio 0,01						

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)	0,014	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
N° muestras analizadas	1	1	1
N° análisis > LD	1	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,006; estroncio 0,048			

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

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)			
punto CNA1	punto CNA3	punto CNA4	punto CNA14
42,7	42,1	45,9	45,4

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )						
vientos arriba de CNA I (punto CNA15)						
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	radio 226	torio 232	potasio 40	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	66	66	1000	56,4 (0,0023 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 0,7; cobalto 1,0; estroncio 4,5						
vientos abajo de CNA I (punto CNA17)						
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	radio 226	torio 232	potasio 40	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	12	<LD	30	1,6 (0,0000652 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,0; cobalto 0,6; estroncio 2,3; torio 3,0						
punto de interés público (punto CNA18)						
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	radio 226	torio 232	potasio 40	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	22	<LD	81	3,7 (0,00015 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 0,7; cobalto 1,0; estroncio 4,5; torio 5,0						

<sup>(\*)</sup> Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 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 CNA18)	vientos abajo de CNA I (punto CNA17)
	tritio	tritio
Promedio ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	0,2	6,1
Máximo ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	0,7	23,5
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	0,3
N° muestras analizadas	45	52
N° análisis > LD	20	52
LD ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ): 0,2		

LD = mayor límite de detección determinado

Concentración de actividad en suelos			
vientos arriba de CNA I (punto CNA15)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
N° muestras analizadas	2	2	2
N° análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 1,0; cobalto 0,7; estroncio 1,1			
grupo representativo de CNA I (punto CNA14)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,7	na	na
Máximo (Bq/kg)	2,0	<LD	1,4
Mínimo (Bq/kg)	1,3	na	<LD
N° muestras analizadas	2	2	2
N° análisis > LD	2	0	1
LD (Bq/kg): cobalto 0,7; estroncio 0,8			
vientos abajo de CNA I (punto CNA17)			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,4	na	na
Máximo (Bq/kg)	1,5	<LD	1,5
Mínimo (Bq/kg)	1,2	na	<LD
N° muestras analizadas	2	2	2
N° análisis > LD	2	0	1
LD (Bq/kg): cobalto 0,8; estroncio 0,9			

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

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona								
	frutas				verduras de hoja			
	tritic	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	tritic	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	72	na	na	0,096	38	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	348	<LD	<LD	0,129	68	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	11	na	na	0,062	<LD	na	na	na
N° muestras analizadas	11	2	2	2	10	2	2	2
N° análisis > LD	11	0	0	2	6	0	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,006; cobalto 0,008				LD (Bq/kg): tritic 9,0; cesio 0,008; cobalto 0,006; estroncio 0,056				
	verduras de raíz			otras verduras				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90		
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na	na	na		
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na	na	na		
N° muestras analizadas	2	2	2	2	2	2		
N° análisis > LD	0	0	0	0	0	0		
LD (Bq/kg): cesio 0,007; cobalto 0,009; estroncio 0,079			LD (Bq/kg): cesio 0,01; cobalto 0,009; estroncio 0,058					

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



Concentración de actividad en leche (Bq/l)					
	tritio	yodo 131	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	129	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	545	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
N° muestras analizadas	12	12	4	4	4
N° análisis > LD	5	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 10,0; yodo 0,20; cesio 0,01; cobalto 0,01; estroncio 0,05					

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 alfa y beta total resultaron ser menores a los valores de screening 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, suelos y peces siendo los valores medidos compatibles con los niveles de fallout ambiental reportados por distintos países.

Asimismo, las trazas de cesio 137 detectados 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.

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 (UNSCEAR 2000-2008). Cabe señalar que el punto blanco de referencia ubicado vientos arriba respecto a la instalación, presentó naturalmente niveles superiores de potasio 40 respecto de los otros dos puntos medidos, debido al excesivo material en suspensión en dicha zona.

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

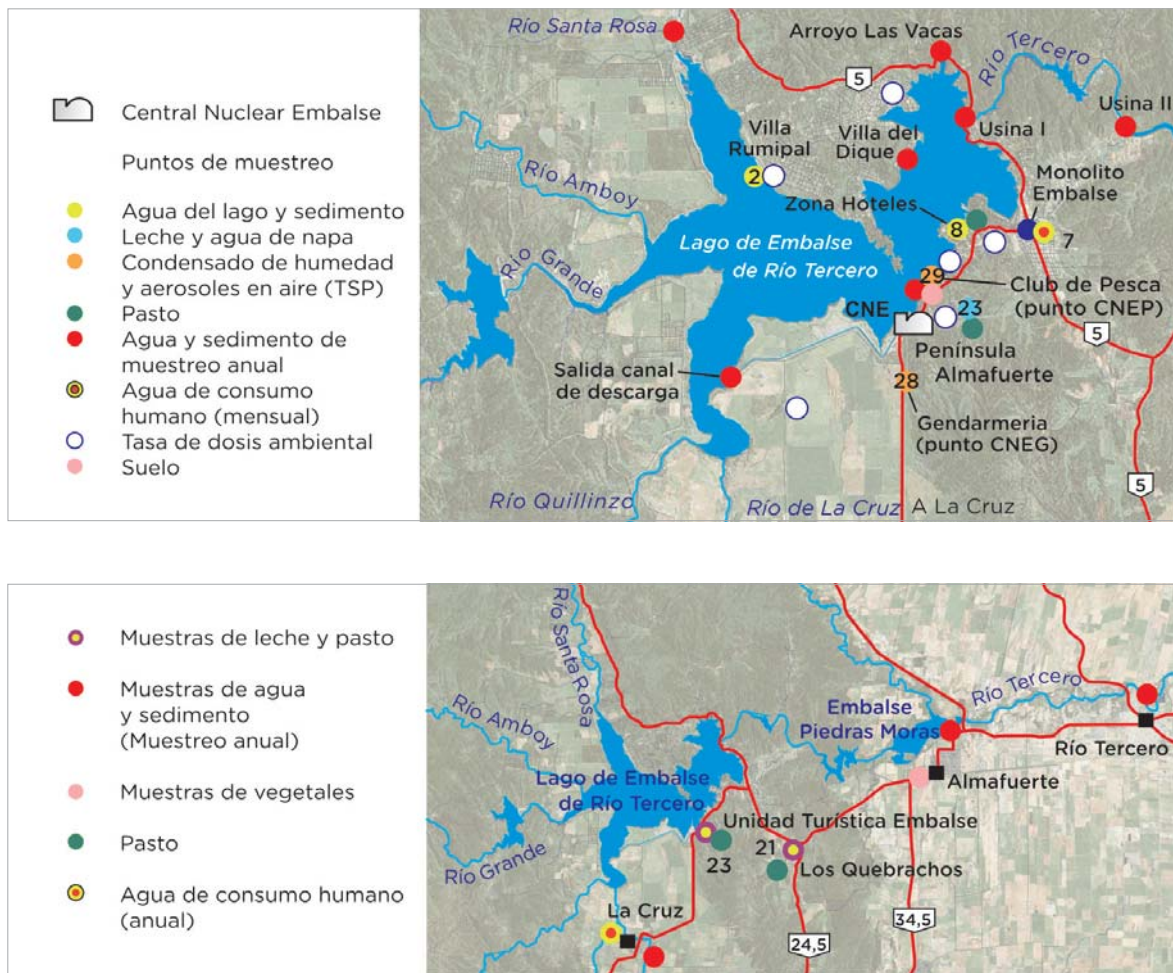
Del análisis de todos los resultados de las mediciones de concentración de actividad en las distintas muestras analizadas correspondientes al monitoreo ambiental en los alrededores de la CNA I, se concluye que estos se corresponden con los obtenidos a través de los modelos de cálculo aplicados por

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.



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

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 radionucléidos.

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 aire y de alimentos producidos en la zona, tales como leche y vegetales. También se determinaron los niveles de tritio en muestras de condensado de humedad. Como indicador de depósito del material radiactivo, se recolectó pasto dentro del radio de 8 km de la CNE (ver puntos de muestreo en figura 12, mapa 1). Asimismo, 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 los puntos 21 y 23, mapa 1 y mapa 2), 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, mapa 1).

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, mapa 1). Ambas estaciones son de características similares a las descriptas para la CNA I.

Con respecto al monitoreo de alimentos, se obtuvieron muestras 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, mapa 1).

A su vez, se realiza con frecuencia anual, 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 2010 se recolectaron en total 279 muestras. Sobre las mismas se realizaron diversos tipos de análisis y determinaciones radioquímicas.

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 <sup>(*)</sup>	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Aerosoles totales en aire	emisores gamma	anual (muestra integrada de 1 semana)	anual
	estroncio 90		
	uranio natural		
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Leche de vaca de la zona	yodo 131	semanal	mensual
	tritio		pool trimestral
	emisores gamma		
	estroncio 90		
Pasto	tritio	mensual	mensual
	yodo 131		
	emisores gamma		
Suelos	emisores gamma	Semestral	semestral
	estroncio 90		
Vegetales cosechados en la zona	tritio	mensual (verduras de hoja y frutas)	mensual
	emisores gamma	Mensual (verduras de hoja, verduras de raíz, otras verduras, frutas)	pool semestral
	estroncio 90		
Agua del Embalse de Río Tercero	tritio	mensual (en 2 puntos del Embalse) anual (en otros 2 puntos del Embalse, sólo para medición de tritio)	mensual anual
	emisores gamma		
	estroncio 90		
Agua de río arriba y aguas abajo del embalse	tritio	anual	anual
Agua de consumo humano	tritio	mensual (Embalse) anual (La Cruz)	mensual anual
	emisores gamma		pool trimestral anual
	estroncio 90		
Agua subterránea	tritio	mensual	mensual
	emisores gamma		Pool trimestral
	estroncio 90		
Sedimentos del embalse de Río Tercero	emisores gamma	mensual (en 2 puntos del Embalse) anual (en otros 2 puntos del Embalse, sólo para medición de tritio)	mensual anual
Sedimentos aguas arriba y abajo del embalse	emisores gamma	anual	anual
Peces	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 Embalse Río Tercero				
balneario/camping de Villa Rumipal				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	214	na	na	na
Máximo (Bq/l)	349	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	133	na	na	na
N° muestras analizadas	12	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; estroncio 0,01				
zona hoteles sociales				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	217	na	na	na
Máximo (Bq/l)	338	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	183	na	na	na
N° muestras analizadas	12	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,03; cobalto 0,02; estroncio 0,01				
Zona Club Náutico		Villa del Dique		
	tritio			tritio
Muestra anual (Bq/l)	196	Muestra anual (Bq/l)		186

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

Concentración de actividad en sedimentos de orilla del Embalse Río Tercero					
Balneario/Camping de Villa Rumipal			Zona hoteles sociales		
	cesio 137	cobalto 60		cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na	Promedio (Bq/kg)	1,0	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	Máximo (Bq/kg)	1,2	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	Mínimo (Bq/kg)	0,9	na
N° muestras analizadas	2	2	N° muestras analizadas	2	2
N° análisis > LD	0	0	N° análisis > LD	2	0
LD (Bq/kg): cesio 0,5; cobalto 0,5			LD (Bq/kg): cobalto 0,4		
zona Club Náutico			Villa del Dique		
	cesio 137	cobalto 60		cesio 137	cobalto 60
Muestra anual (Bq/kg)	<LD	<LD	Muestra anual (Bq/kg)	1,4	<LD
LD (Bq/kg): cesio 1,0; cobalto 1,0			LD (Bq/kg): cobalto 0,5		

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

Concentración de actividad en aguas y sedimentos, aguas arriba y aguas abajo Embalse Río Tercero				
	Aguas (Bq/l)		Sedimentos (Bq/kg)	
	tritio	cesio 137	cobalto 60	
Río Santa Rosa (aguas arriba del embalse)	<LD	2,9	<LD	
Río La Cruz (aguas arriba del embalse)	<LD	<LD	<LD	
Arroyo Las Vacas (aguas abajo del embalse)	166	1,3	<LD	
Río Tercero, altura usina I (aguas abajo del embalse)	177	1,8	<LD	
Río Tercero, altura usina II (aguas abajo del embalse)	155	3,5	<LD	
Embalse Piedras Moras, Almafuerte (aguas abajo del embalse)	156	2,0	<LD	
Río Tercero, zona balneario ciudad de Río Tercero (aguas abajo)	135	na	na	
Río Carcarañá, cruce con ruta provincial 6 (aguas abajo del embalse)	<LD	na	na	
Río Carcarañá, cruce con ruta nacional 9 (aguas abajo del embalse)	<LD	na	na	
LD (Bq/l): tritio 10,0; cesio 0,6; cobalto 1,0				

LD = mayor límite de detección determinado; na = no aplicable dado que no se tomaron sedimentos en estos lugares

Concentración de actividad en aguas subterráneas				
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
N° muestras analizadas	11	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,03; cobalto 0,02; estroncio 0,01				

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

Concentración de actividad en aguas de consumo humano				
Ciudad de Embalse Río Tercero				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	219	na	na	na
Máximo (Bq/l)	355	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	157	na	na	na
N° muestras analizadas	12	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0
LD (Bq/l): cesio 0,02; cobalto 0,02; estroncio 0,01				
Ciudad de La Cruz				
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Muestra anual (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
LD (Bq/l): tritio 10,0; cesio 0,20; cobalto 0,10; estroncio 0,03				

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)	0,029	na	na
Máximo (Bq/kg)	0,030	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	0,027	na	na
N° muestras analizadas	2	2	2
N° análisis > LD	2	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,020; estroncio 0,063			

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

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)					
La Aguada	Club Náutico	Hotel NA-SA	Fuerza Aérea	Villa Rumipal	Colonia Marina
63,3	61,2	75,4	68,4	96,8	70,7

Concentración de actividad en condensados de humedad		
	Destacamento de Gendarmería - CNEG (punto CNE28)	Grupo representativo - CNEP (punto CNE29)
	tritio	tritio
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	1,3	1,2
Máximo (Bq/m <sup>3</sup> )	5,4	3,2
Mínimo (Bq/m <sup>3</sup> )	0,1	<LD
N° muestras analizadas	47	33
N° análisis > LD	47	32
LD (Bq/m <sup>3</sup> ): 0,1		

LD = mayor límite de detección determinado

Depósito y concentración de actividad en pasto			
Puntos de interés público (puntos CNE8, 21 y 23)			
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
Promedio (Bq/m <sup>2</sup> )	na	na	na
Máximo (Bq/m <sup>2</sup> )	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/m <sup>2</sup> )	na	na	na
N° muestras analizadas	12	12	12
N° análisis > LD	0	0	0
LD (Bq/m <sup>2</sup> ): cesio 4,0; cobalto 4,0; yodo 4,0			
	Punto 8	Tambo a 7 km de CNE	Tambo a 0,8 km de CNE
	tritio	tritio	tritio
Promedio (Bq/kg)	178	51	262
Máximo (Bq/kg)	301	137	1425
Mínimo (Bq/kg)	32	<LD	<LD
N° muestras analizadas	12	12	12
N° análisis > LD	12	8	11
LD (Bq/kg): 8,0			

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

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la zona								
	frutas				verduras de hoja			
	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	49	na	na	na	83	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	112	<LD	<LD	<LD	241	<LD	<LD	0,098
Mínimo (Bq/kg)	23	na	na	na	<LD	na	na	<LD
N° muestras analizadas	12	1	1	1	12	2	2	2
N° análisis > LD	12	0	0	0	9	0	0	1
LD (Bq/kg): cesio 0,003; cobalto 0,004; estroncio 0,016				LD (Bq/kg): tritio 8,0; cesio 0,007; cobalto 0,007; estroncio 0,056				
	verduras de raíz			otras verduras				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90		
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na	na	na		
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na	na	na		
N° muestras analizadas	2	2	2	1	1	1		
N° análisis > LD	0	0	1	0	0	0		
LD (Bq/kg): cesio 0,010; cobalto 0,008; estroncio 0,083			LD (Bq/kg): cesio 0,004; cobalto 0,004; estroncio 0,031					

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

Concentración de actividad en leche de la zona					
Tambo a 7 km de CNE					
	tritio	yodo 131	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	19	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	29	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
N° muestras analizadas	12	12	4	4	4
N° análisis > LD	8	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 9,0; yodo 0,3; cesio 0,005; cobalto 0,006; estroncio 0,049					
Tambo a 0,8 km de CNE					
	yodo 131	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	tritio
Promedio (Bq/l)	48	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	104	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	<LD	na	na	na	na
N° muestras analizadas	11	11	4	4	4
N° análisis > LD	9	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 8,0; yodo 0,3; cesio 0,009; cobalto 0,008; estroncio 0,051					

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 de efluentes generados por el 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 y no a la operación de la planta nuclear. Cabe señalar que en éste último caso, los niveles 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 la Seguridad Radiológica y Nuclear” 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 73 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)

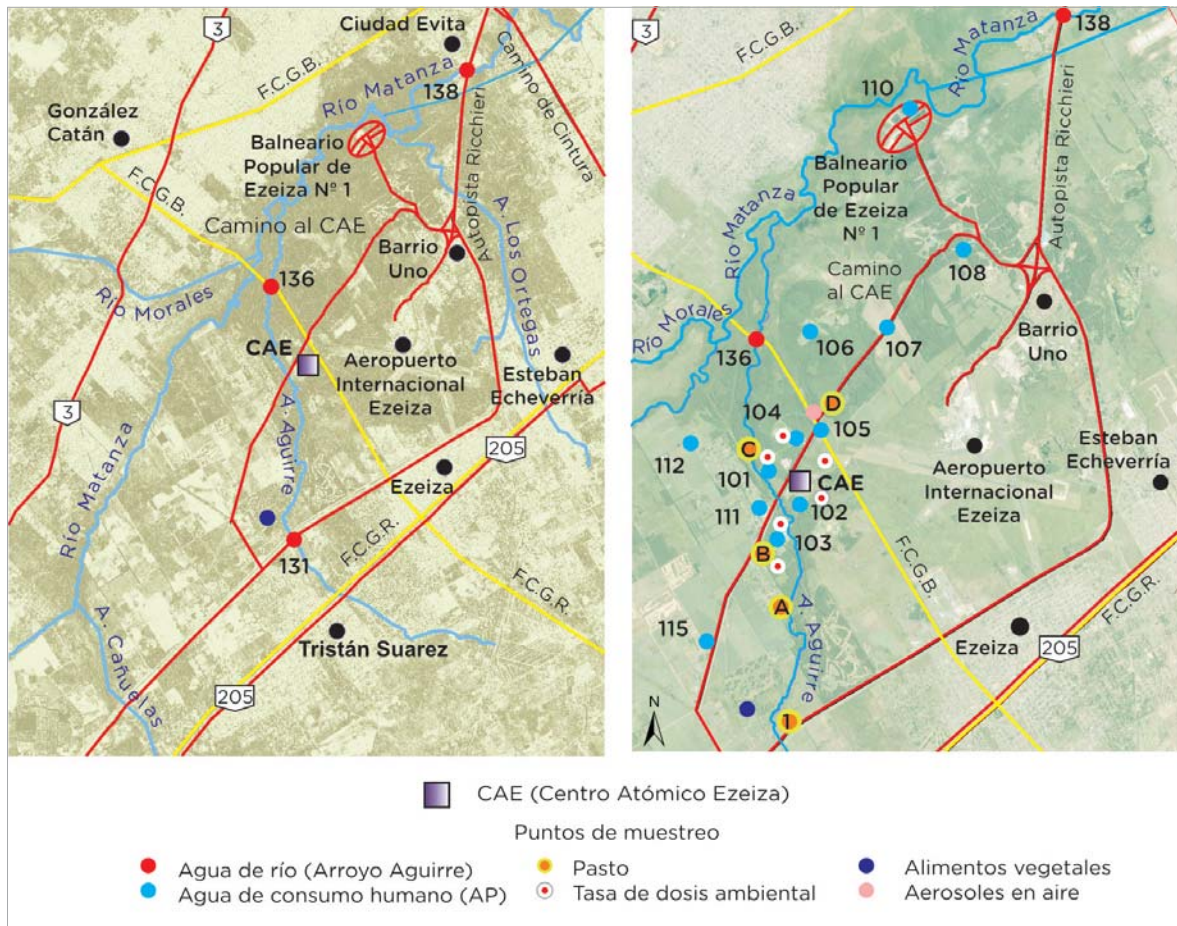
El Centro Atómico Ezeiza (CAE), está ubicado en la localidad de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Las principales instalaciones que componen este centro son: el Reactor RA 3 para Producción de Radioisótopos e Investigación; la Planta de Producción de Radioisótopos para uso médico e industrial; la Fábrica



ca 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.



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

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas gaseosas, 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 analizadas 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 los 3 km del Centro Atómico Ezeiza. Adicionalmente, se realizó la medición de tasa de dosis ambiental.

Para evaluar el impacto ambiental de las descargas líquidas, 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 “Alfa/beta total” en aguas, las muestras fueron concentradas para bajar el límite de detección y medidas en un equipo de centelleo líquido; cuando los resultados de alfa o beta total superaron los niveles de cribaje, 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 2010 se recolectaron 863 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 <sup>(*)</sup>	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Aerosoles totales en aire	emisores gamma	continua	semanal
	estroncio 90		pool mensual
	uranio natural	semestral (integrado de pool mensual)	semestral
Condensado de humedad	tritio	continua	semanal
Pasto	yodo 131	mensual	mensual
	emisores gamma		
Vegetales cosechados en la zona	emisores gamma	semestral (verduras de hoja, verduras de raíz, otras verduras, frutas)	semestral
	estroncio 90		
Agua del Arroyo Aguirre y Río Matanza	tritio	mensual (puntos del Arroyo Aguirre)	mensual
	emisores gamma		
	uranio natural	semestral (punto del Río Matanza)	semestral
Agua de consumo humano	tritio	trimestral	trimestral
	uranio natural	mensual	mensual
	emisores gamma	trimestral (CAE 101 a 104) mensual (el resto)	trimestral pool trimestral
	estroncio 90	mensual (sólo CAE 101 a 105)	pool trimestral
	emisores alfa - beta	trimestral	trimestral
Sedimentos del Arroyo Aguirre y Río Matanza	emisores gamma	semestral	semestral
	uranio natural		
Depósito	emisores gamma	continuo	trimestral
	estroncio 90		

<sup>(\*)</sup> 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 CAE101							
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,49 (19,6 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	na	0,50	0,67
Máximo (Bq/l)	0,56 (22,5 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	<LD	0,53	0,77
Mínimo (Bq/l)	0,44 (17,7 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	na	0,47	0,53
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,002; cobalto 0,002; estroncio 0,001							
punto CAE102							
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,37 (14,7 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	0,009	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,48 (19,1 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	0,009	<LD	0,32	0,54
Mínimo (Bq/l)	0,26 (10,5 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	<LD	na	na	na
N° muestras analizadas	7	1	3	3	3	1	1
N° análisis > LD	7	0	0	2	0	1	1
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,002; cobalto 0,002; estroncio 0,001							
punto CAE103							
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,65 (26,0 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	na	0,70	0,85
Máximo (Bq/l)	0,85 (34,0 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	<LD	0,83	0,93
Mínimo (Bq/l)	0,51 (20,4 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	na	0,56	0,76
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,002; cobalto 0,002; estroncio 0,001							
punto CAE104							
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,50 (19,9 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	na	0,50	0,58
Máximo (Bq/l)	0,80 (32,0 $\mu\text{g/l}$ )	<LD	<LD	<LD	<LD	0,79	0,68
Mínimo (Bq/l)	0,28 (10,9 $\mu\text{g/l}$ )	na	na	na	na	0,24	0,49
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,002; cobalto 0,002; estroncio 0,001							

<sup>(\*)</sup> Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 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 CAE105						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,20 (8,1 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,23	0,44
Máximo (Bq/l)	0,25 (9,9 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,26	0,48
Mínimo (Bq/l)	0,03 (1,2 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,21	0,36
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,2; cobalto 0,1						
punto CAE106						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,25 (10,0 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,26	0,39
Máximo (Bq/l)	0,30 (11,8 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,29	0,42
Mínimo (Bq/l)	0,22 (8,7 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,25	0,30
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,2; cobalto 0,2						
punto CAE107						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,21 (8,2 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,19	0,40
Máximo (Bq/l)	0,29 (11,7 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,20	0,45
Mínimo (Bq/l)	0,17 (6,7 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,18	0,38
N° muestras analizadas	11	4	3	3	4	4
N° análisis > LD	11	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,3; cobalto 0,2						
punto CAE108						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,22 (8,7 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,20	0,43
Máximo (Bq/l)	0,28 (11,3 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,23	0,50
Mínimo (Bq/l)	0,19 (7,5 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,18	0,37
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	4	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,2; cobalto 0,2						
punto CAE110						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,26 (10,3 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,29	0,51
Máximo (Bq/l)	0,38 (15,0 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,33	0,57
Mínimo (Bq/l)	0,21 (8,2 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,33	0,47
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,2; cobalto 0,2						
punto CAE111						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,80 (31,9 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,68	0,65
Máximo (Bq/l)	0,93 (37,0 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,99	0,83
Mínimo (Bq/l)	0,73 (29,0 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,42	0,44
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,3; cobalto 0,2						
punto CAE112						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,30 (11,8 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,23	0,80
Máximo (Bq/l)	0,70 (28,0 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,29	0,88
Mínimo (Bq/l)	0,22 (8,7 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,20	0,69
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,2; cobalto 0,2						
punto CAE115						
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60	$\alpha$ total	$\beta$ total
Promedio (Bq/l)	0,64 (25,5 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,76	0,78
Máximo (Bq/l)	0,75 (29,9 $\mu$ g/l)	<LD	<LD	<LD	0,83	0,85
Mínimo (Bq/l)	0,28 (11,1 $\mu$ g/l)	na	na	na	0,61	0,70
N° muestras analizadas	12	4	4	4	4	4
N° análisis > LD	12	0	0	0	4	4
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,3; cobalto 0,2						

<sup>(\*)</sup> Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/ $\mu$ 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 CAE131)				
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/l)	0,31 (12,5 µg/l)	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,44 (17,4 µg/l)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,22 (8,8 µg/l)	na	na	na
N° muestras analizadas	36	12	12	12
N° análisis > LD	36	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,7; cobalto 0,7				
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE136)				
	uranio natural <sup>(*)</sup>	tritio	cesio 137	cobalto 60l
Promedio (Bq/l)	0,33 (13,1 µg/l)	na	na	na
Máximo (Bq/l)	0,45 (18,0 µg/l)	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	0,16 (5,8 µg/l)	na	na	na
N° muestras analizadas	18	6	6	6
N° análisis > LD	18	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 1,0; cobalto 0,5				
Río Matanza, aguas abajo del CAE (punto CAE138)				
	uranio natural <sup>(*)</sup>			
Promedio (Bq/l)	0,40 (16,0 µg/l)			
Máximo (Bq/l)	0,58 (23,0 µg/l)			
Mínimo (Bq/l)	0,23 (9,0 µg/l)			
N° muestras analizadas	2			
N° análisis > LD	2			

<sup>(\*)</sup> Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/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 CAE131)			
	uranio natural <sup>(*)</sup>	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	109 (4,36 µg/g)	13	14
Mínimo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD
N° muestras analizadas	2	2	2
N° análisis > LD	1	1	1
LD (Bq/kg): uranio 24,0; cesio 0,5; cobalto 0,5			
Arroyo Aguirre, aguas abajo del CAE (punto CAE136)			
	uranio natural <sup>(*)</sup>	cesio 137	cobalto 60
Promedio (Bq/kg)	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	128 (5,12 µg/g)	25	9
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na
N° muestras analizadas	1	1	1
N° análisis > LD	1	1	1

<sup>(\*)</sup> Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/µg (NPL Report IR6, enero 2008).

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

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)					
Guardería (CAE)	LPR (CAE)	Campo 6 (CAE)	FAE (CAE)	Tosquera (CAE)	Plantas Químicas (CAE)
37,0	39,4	35,9	38,9	40,9	35,8

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire				
Tosquera CAE				
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	Uranio natural <sup>(*)</sup>
Promedio ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	na	na	na	11,6 (0,00046 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Máximo ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	5	<LD	13,1 (0,00052 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Mínimo ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	na	<LD	na	10,0 (0,00040 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
N° muestras analizadas	52	52	12	2
N° análisis > LD	0	1	0	2
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 5,0; cobalto 4,0; estroncio 3,4				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 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			
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ): cesio 0,09; cobalto 0,08; estroncio 0,033			

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

Depósito de actividad en muestras de pasto de la zona			
	cesio 137	cobalto 60	yodo 131
Promedio ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
N° muestras analizadas (*)	60	60	60
N° análisis > LD	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ): cesio 11; cobalto 11; yodo 11			

(\*) 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			verduras de hoja		
	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	na	na	na	na	na	na
Máximo (Bq/kg)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	na	na	na	na	na	na
N° muestras analizadas	1	1	1	2	2	2
N° análisis > LD	0	0	0	0	0	0
	LD (Bq/kg): cesio 0,009; cobalto 0,008; estroncio 0,043			LD (Bq/kg): cesio 0,006; cobalto 0,006; estroncio 0,160		
	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	
N° muestras analizadas	2		2		2	
N° análisis > LD	0		0		0	
	LD (Bq/kg): cesio 0,01; cobalto 0,008; estroncio 0,051					

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 alfa total 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 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 10000 Bq/l para H3 (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 N° 831/93 de la Ley N° 24.051 y Ley N° 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 38 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 la Seguridad Radiológica y Nuclear” Norma AR 10.1.1.), las que son consistentes con las recomendaciones efectuadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por su sigla 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, 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 radionucleidos 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 2010 se recolectaron 35 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.





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

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		
Suelos	emisores gamma	anual	anual
	estroncio 90		
Agua del Arroyo Gutiérrez y del Lago Nahuel Huapi	tritio	trimestral	trimestral
	emisores gamma		
	estroncio 90		
Agua de consumo humano	tritio	trimestral	trimestral
	estroncio 90		
	emisores gamma		
Sedimentos del Gutiérrez y del Lago Nahuel Huapi	emisores gamma	trimestral	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 del Arroyo Gutiérrez y del Lago Nahuel Huapi				
Lago Nahuel Huapi - aguas arriba desembocadura Arroyo Gutiérrez (punto CAB4)				
tritio	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,20; cobalto 0,10; estroncio 0,03				
Lago Nahuel Huapi - aguas abajo desembocadura Arroyo Gutiérrez (punto CAB5)				
tritio	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,20; cobalto 0,20; estroncio 0,03				
Arroyo Gutiérrez - aguas arriba del CAB (punto CAB1)				
tritio	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,20; cobalto 0,30; estroncio 0,03				
Arroyo Gutiérrez - aguas abajo del CAB (punto CAB2)				
tritio	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,20; cobalto 0,10; estroncio 0,03				

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

Concentración de actividad en aguas de consumo humano Ciudad de San Carlos de Bariloche				
período	tritio	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/l)	na	na	na	na
Máximo (Bq/l)	<LD	<LD	<LD	<LD
Mínimo (Bq/l)	na	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0	0
LD (Bq/l): tritio 11,0; cesio 0,20; cobalto 0,10; estroncio 0,03				

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

Concentración de actividad en sedimentos del Arroyo Gutiérrez			
aguas arriba del CAB (punto CAB1)			
cesio 137	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,9	na	na
Máximo (Bq/kg)	2,5	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	<LD	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4
N° análisis > LD	3	0	0
LD (Bq/kg): cesio 0,4; cobalto 0,8; estroncio 1,5			
aguas abajo del CAB (punto CAB2)			
cesio 137	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio (Bq/kg)	1,9	na	na
Máximo (Bq/kg)	3,7	<LD	<LD
Mínimo (Bq/kg)	1,0	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4
N° análisis > LD	4	0	0
LD (Bq/kg): cobalto 0,7; estroncio 1,3			

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

Tasa de dosis ambiental - nGy/h (promedio anual)			
Guardería (CAB)	Usina Puerto Moreno	Portón Este (CAB)	Cruce Av. de Los Pioneros y camino a Cerro Catedral
65,2	58,0	62,4	65,0

Concentración de actividad en muestras de aerosoles totales en aire ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )			
vientos arriba del CAB (usina Puerto Moreno)			
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	0,65 (0,000026 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 0,6; cobalto 0,6; estroncio 2,3			
punto equivalente a vientos abajo del CAB (piscicultura)			
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	0,68 (0,000027 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 1,0; cobalto 0,7; estroncio 2,0			
puntos de interés público (guardería CAB)			
cesio 137	cobalto 60	estroncio 90	uranio natural <sup>(*)</sup>
<LD	<LD	<LD	1,18 (0,000047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 0,7; cobalto 0,7; estroncio 2,0			

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 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 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.



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

Se recolectaron durante 2010, 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:

Complejo Tecnológico Pilcaniyeu	
uranio natural en aguas del Río Pichileufú, aguas arriba de la instalación	
uranio natural	
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na
N° muestras analizadas	1
N° análisis > LD	0
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 5,0	
uranio natural en aguas del Río Pichileufú, aguas abajo de la instalación	
uranio natural	
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na
N° muestras analizadas	2
N° análisis > LD	0
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 5,0	
uranio natural en aguas de consumo humano de Pilcaniyeu	
uranio natural ( $\mu\text{g/l}$ )	
4,5	
uranio natural en sedimentos del río Pichileufú, aguas arriba de la instalación	
uranio natural	
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	1,5
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na
N° muestras analizadas	1
N° análisis > LD	1
uranio natural en sedimentos del río Puchileufú, aguas abajo de la instalación	
uranio natural	
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	na
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	0,8
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	na
N° muestras analizadas	1
N° 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, se realizan en los alrededores de dichas instalaciones, muestreos de aguas superficiales y sedimentos de las zonas de influencia.

Paralelamente, se realizan muestreos de aguas subterráneas 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 natural 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 2010, 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			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		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
N° muestras analizadas	5	N° muestras analizadas	5
N° análisis > LD	0	N° análisis > LD	0
LD (µg/l): 4,5		LD (mBq/l): 4,0	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	9,1	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	11,7	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	5,3	Mínimo (mBq/l)	na
N° muestras analizadas	8	N° muestras analizadas	8
N° análisis > LD	3	N° análisis > LD	0
LD (µg/l): 4,5		LD (mBq/l): 4,1	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	2,2	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	3,2	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	1,3	Mínimo (mBq/l)	na
N° muestras analizadas	3	N° muestras analizadas	3
N° análisis > LD	3	N° análisis > LD	0
LD (µg/l): na		LD (mBq/l): 4,1	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	2,0	Promedio (mBq/g)	na
Máximo (µg/g)	3,4	Máximo (mBq/g)	16,1
Mínimo (µg/g)	1,4	Mínimo (mBq/g)	<LD
N° muestras analizadas	5	N° muestras analizadas	5
N° análisis > LD	4	N° análisis > LD	1
LD (µg/g): 1,0		LD (mBq/g): 14,3	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	2,3	Promedio (mBq/g)	85,5
Máximo (µg/g)	3,6	Máximo (mBq/g)	254,3
Mínimo (µg/g)	1,6	Mínimo (mBq/g)	16,1
N° muestras analizadas	4	N° muestras analizadas	4
N° análisis > LD	4	N° análisis > LD	4
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	

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 superfi-

ciales y sedimentos sobre el río Suquía (Primero), aguas arriba y aguas abajo de la instalación, como puede observarse en los mapas de la **Figura 17**. Se toma además una muestra del agua de consumo humano de la ciudad de Córdoba.

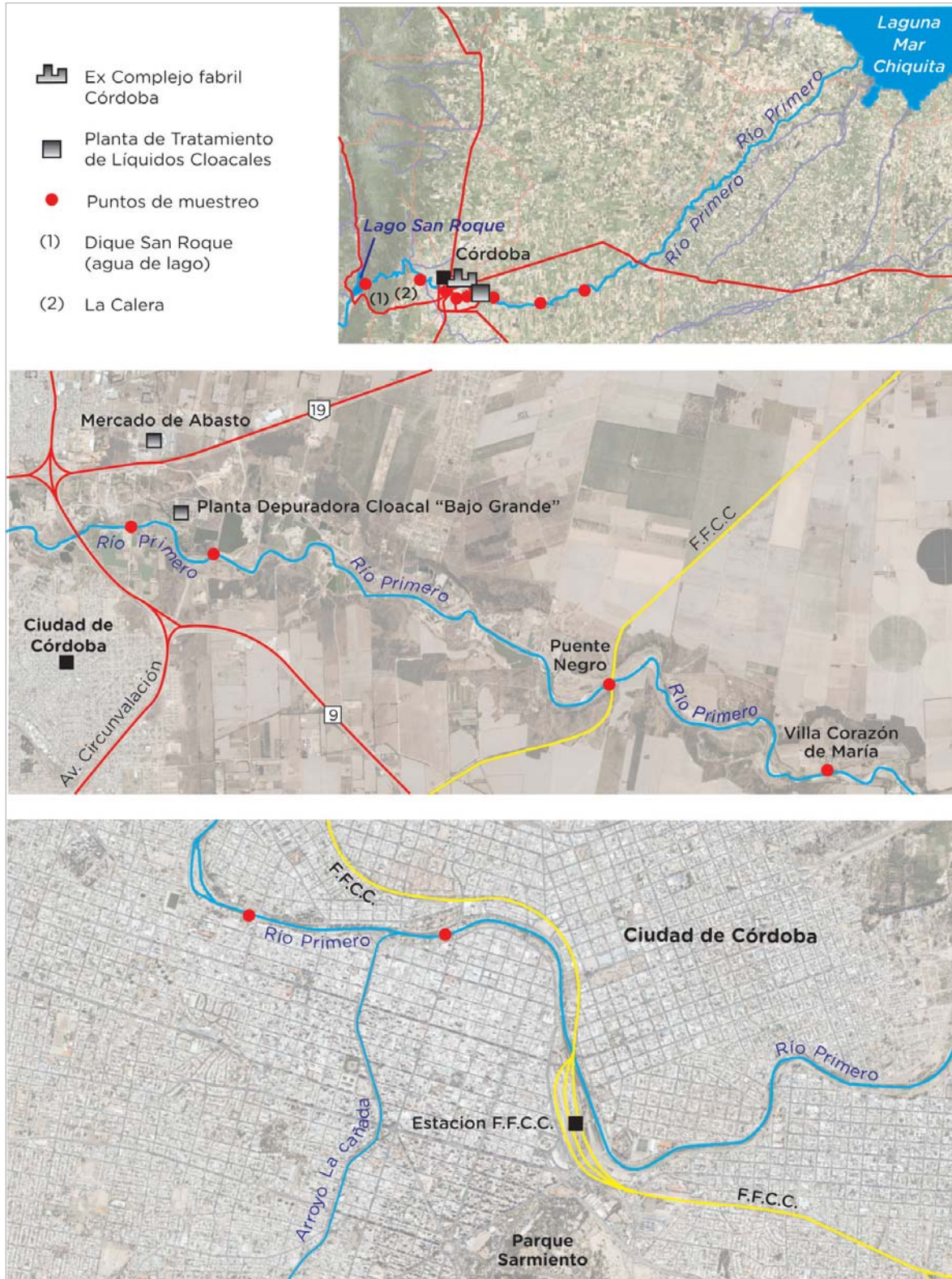


Figura 17. Alrededores de la Planta de Conversión de Dióxido de Uranio (Provincia de Córdoba)



Durante el año 2010 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			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	11,0	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	14,8	Máximo (mBq/l)	6,1
Mínimo (µg/l)	7,3	Mínimo (mBq/l)	<LD
N° muestras analizadas	5	N° muestras analizadas	5
N° análisis > LD	2	N° análisis > LD	1
LD (µg/l): 7,1		LD (mBq/l): 3,5	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	12,8	Promedio (mBq/l)	4,8
Máximo (µg/l)	14,6	Máximo (mBq/l)	5,8
Mínimo (µg/l)	11,5	Mínimo (mBq/l)	3,7
N° muestras analizadas	3	N° muestras analizadas	3
N° análisis > LD	3	N° análisis > LD	2
LD (µg/l): na		LD (mBq/l): 3,3	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano de la ciudad de Córdoba			
uranio natural (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
2,8		3,7	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	4,5	Promedio (mBq/g)	34,2
Máximo (µg/g)	4,6	Máximo (mBq/g)	41,8
Mínimo (µg/g)	4,4	Mínimo (mBq/g)	26,6
N° muestras analizadas	2	N° muestras analizadas	2
N° análisis > LD	2	N° análisis > LD	2
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	4,2	Promedio (mBq/g)	47,5
Máximo (µg/g)	4,7	Máximo (mBq/g)	54,8
Mínimo (µg/g)	3,6	Mínimo (mBq/g)	40,1
N° muestras analizadas	2	N° muestras analizadas	2
N° análisis > LD	2	N° análisis > LD	2
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	

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 el año 1986. En principio procesó mineral de uranio procedente de los yacimientos "Huemul" y "Agua Botada", ubicados 40 km al sur de la localidad de Malargüe, procesando luego mineral procedente de San Rafael. Actualmente 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 Llancalelo.

Paralelamente 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 2010, 16 muestras de aguas superficiales, 7 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			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		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	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 4,5		LD (mBq/l): 4,4	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	32,5	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	72,6	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	12,0	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	10	Nº muestras analizadas	10
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 4,5		LD (mBq/l): 4,0	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano de la ciudad de Malargüe			
uranio natural (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
3,5		<LD	
LD = na		LD = 3,9	
radionucleidos analizados en aguas subterráneas de la zona de influencia			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	37,5	Promedio (mBq/l)	46,5
Máximo (µg/l)	77,1	Máximo (mBq/l)	87,1
Mínimo (µg/l)	5,9	Mínimo (mBq/l)	17,8
Nº muestras analizadas	10	Nº muestras analizadas	10
Nº análisis > LD	4	Nº análisis > LD	4
LD (µg/l): 4,5		LD (mBq/l): 4,0	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	2,1	Promedio (mBq/g)	25,5
Máximo (µg/g)	2,8	Máximo (mBq/g)	29,6
Mínimo (µg/g)	1,3	Mínimo (mBq/g)	21,5
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	2	Nº análisis > LD	2
LD (µg/g): 1,25		LD (mBq/g): 15,0	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	4,4	Promedio (mBq/g)	35,1
Máximo (µg/g)	14,1	Máximo (mBq/g)	50,1
Mínimo (µg/g)	1,2	Mínimo (mBq/g)	24,3
Nº muestras analizadas	7	Nº muestras analizadas	7
Nº análisis > LD	7	Nº análisis > LD	6
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): 15,1	

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

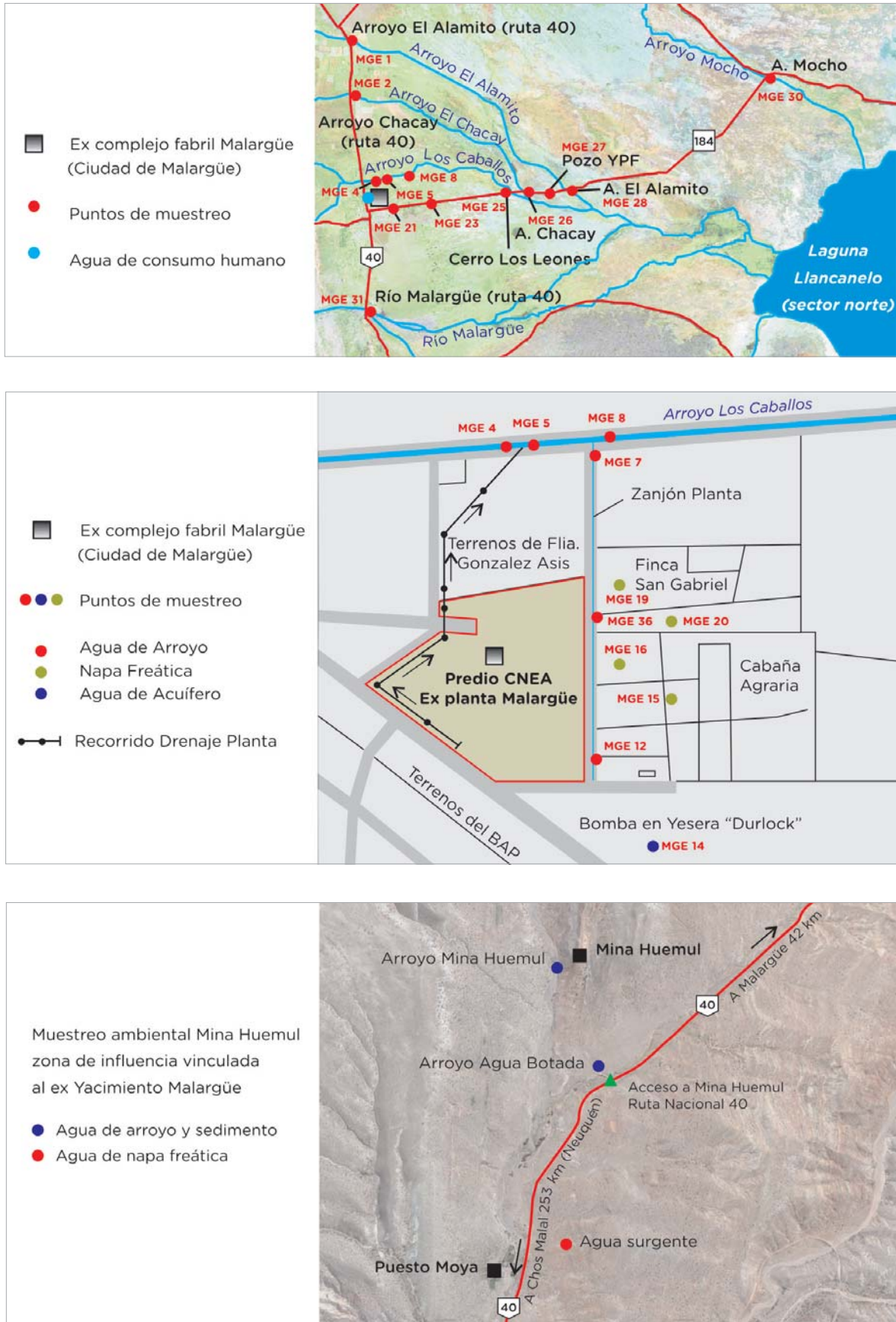


Figura 18. Alrededores del ex Complejo fabril Córdoba (Provincia de Córdoba)

## 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.

Se recolectaron en 2010, 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			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		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	4	Nº muestras analizadas	4
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 7,1		LD (mBq/l): 3,4	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	19,0
Máximo (µg/l)	<LD	Máximo (mBq/l)	24,2
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	13,8
Nº muestras analizadas	4	Nº muestras analizadas	8
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	3
LD (µg/l): 7,1		LD (mBq/l): 3,7	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano de Villa Carlos Paz			
uranio natural (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
0,5		<LD	
LD = na		LD = 3,8	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	7,7	Promedio (mBq/g)	114,3
Máximo (µg/g)	7,9	Máximo (mBq/g)	226,1
Mínimo (µg/g)	7,6	Mínimo (mBq/g)	48,7
Nº muestras analizadas	3	Nº muestras analizadas	3
Nº análisis > LD	3	Nº análisis > LD	3
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	7,0	Promedio (mBq/g)	138,9
Máximo (µg/g)	15,4	Máximo (mBq/g)	355,2
Mínimo (µg/g)	2,1	Mínimo (mBq/g)	73,9
Nº muestras analizadas	6	Nº muestras analizadas	6
Nº análisis > LD	6	Nº análisis > LD	6
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	

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

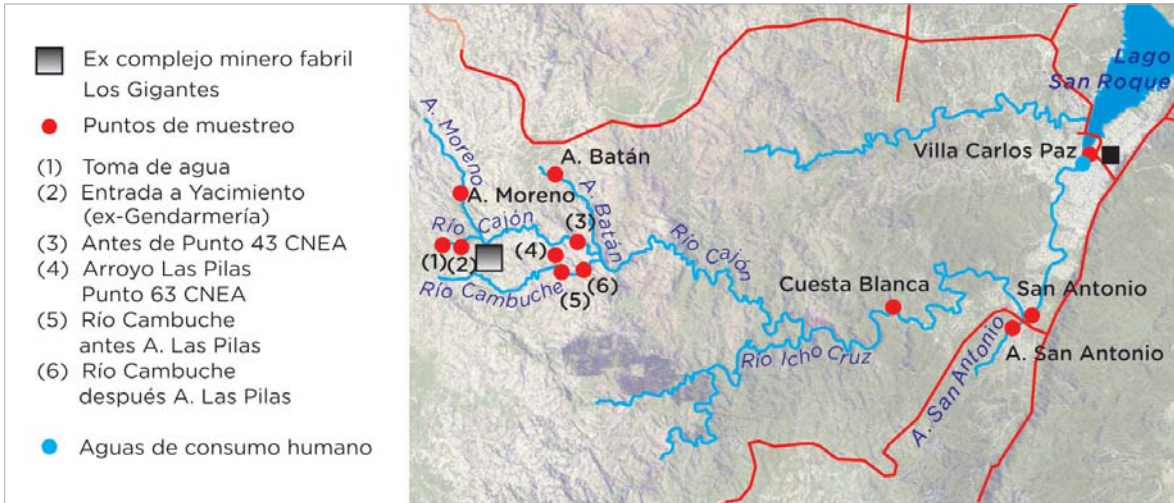


Figura 19. Alrededores del ex Complejo minero fabril Los Gigantes (Provincia de Córdoba)

### 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 N° 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 yacimiento 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.

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.



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

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). A su vez, se toman muestras del agua de consumo humano de Villa Larca, Concarán, Santa Rosa de Conlara y Merlo.

En el año 2010 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			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	<LD	Máximo (mBq/l)	3,4
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	na	Mínimo (mBq/l)	<LD
N° muestras analizadas	2	N° muestras analizadas	2
N° análisis > LD	0	N° análisis > LD	1
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 7,1		LD (mBq/l): 3,2	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	26,1	Promedio (mBq/l)	7,6
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	43,2	Máximo (mBq/l)	11,0
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	9,0	Mínimo (mBq/l)	3,7
N° muestras analizadas	7	N° muestras analizadas	5
N° análisis > LD	2	N° análisis > LD	4
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): 7,1		LD (mBq/l): 3,4	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano en zonas de influencia del Valle de Conlara			
	uranio natural		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/l}$ )	10,6	Promedio (mBq/l)	na
Máximo ( $\mu\text{g/l}$ )	43,2	Máximo (mBq/l)	8,5
Mínimo ( $\mu\text{g/l}$ )	1,2	Mínimo (mBq/l)	<LD
N° muestras analizadas	4	N° muestras analizadas	4
N° análisis > LD	4	N° análisis > LD	1
LD ( $\mu\text{g/l}$ ): na		LD (mBq/l): 3,5	
radionucleidos analizados en aguas subterráneas del Valle de Conlara			
uranio natural ( $\mu\text{g/l}$ )		radio 226 (mBq/l)	
16,8		7,8	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	9,6	Promedio (mBq/g)	80,4
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	13,2	Máximo (mBq/g)	97,1
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	6,0	Mínimo (mBq/g)	63,6
N° muestras analizadas	2	N° muestras analizadas	2
N° análisis > LD	2	N° análisis > LD	2
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): na		LD (mBq/g): na	

radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	21,3	Promedio (mBq/g)	333,9
Máximo (µg/g)	47,6	Máximo (mBq/g)	645,9
Mínimo (µg/g)	4,5	Mínimo (mBq/g)	53,2
N° muestras analizadas	4	N° muestras analizadas	4
N° análisis > LD	4	N° análisis > LD	4
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	

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 2010, 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			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	24,8	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	25,1	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	24,5	Mínimo (mBq/l)	na
N° muestras analizadas	8	N° muestras analizadas	8
N° análisis > LD	2	N° análisis > LD	0
LD (µg/l): 6,0		LD (mBq/l): 4,9	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	6,5	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
N° muestras analizadas	6	N° muestras analizadas	6
N° análisis > LD	1	N° análisis > LD	0
LD (µg/l): 6,0		LD (mBq/l): 4,4	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano en zona de influencia Salta-Cafayate-Cachi			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	4,3	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	9,9	Máximo (mBq/l)	8,7
Mínimo (µg/l)	0,6	Mínimo (mBq/l)	<LD
N° muestras analizadas	3	N° muestras analizadas	3
N° análisis > LD	3	N° análisis > LD	1
LD (µg/l): na		LD (mBq/l): 4,3	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	2,9	Promedio (mBq/g)	53,0
Máximo (µg/g)	5,6	Máximo (mBq/g)	66,5
Mínimo (µg/g)	1,3	Mínimo (mBq/g)	39,5
N° muestras analizadas	9	N° muestras analizadas	9
N° análisis > LD	9	N° análisis > LD	5
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): 30,6	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	1,8	Promedio (mBq/g)	40,5
Máximo (µg/g)	2,9	Máximo (mBq/g)	43,1
Mínimo (µg/g)	0,7	Mínimo (mBq/g)	38,0
N° muestras analizadas	7	N° muestras analizadas	7
N° análisis > LD	7	N° análisis > LD	2
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): 30,6	

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 número 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 2010, se tomaron 27 muestras de aguas superficiales, 4 de aguas de consumo humano y 16 muestras de sedimentos. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Durante el año 2010, se tomaron 27 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			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	<LD	Máximo (mBq/l)	5,7
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	<LD
Nº muestras analizadas	11	Nº muestras analizadas	11
Nº análisis > LD	0	Nº análisis > LD	1
LD (µg/l): 5,0		LD (mBq/l): 4,4	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	3,8	Máximo (mBq/l)	<LD
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	na
Nº muestras analizadas	12	Nº muestras analizadas	12
Nº análisis > LD	1	Nº análisis > LD	0
LD (µg/l): 5,0		LD (mBq/l): 4,8	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano en zonas de influencia			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	1,6	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	3,2	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 (µg/l): na		LD (mBq/l): 4,6	

radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,6	Promedio (mBq/g)	43,8
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,5	Máximo (mBq/g)	88,7
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	0,7	Mínimo (mBq/g)	21,7
N° muestras analizadas	9	N° muestras analizadas	9
N° análisis > LD	9	N° análisis > LD	8
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): na		LD (mBq/g): 16,4	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio ( $\mu\text{g/g}$ )	1,9	Promedio (mBq/g)	36,0
Máximo ( $\mu\text{g/g}$ )	2,4	Máximo (mBq/g)	53,6
Mínimo ( $\mu\text{g/g}$ )	1,5	Mínimo (mBq/g)	21,7
N° muestras analizadas	7	N° muestras analizadas	7
N° análisis > LD	6	N° análisis > LD	7
LD ( $\mu\text{g/g}$ ): 0,9		LD (mBq/g): na	

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 2010, se tomaron 3 muestras de aguas superficiales, 4 de aguas subterráneas, 1 de agua termal, 1 de agua de consumo humano y 3 muestras de sedimento. Se detallan a continuación los valores obtenidos:

Ex Complejo minero fabril Los Colorados			
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		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
N° muestras analizadas	3	N° muestras analizadas	3
N° análisis > LD	0	N° análisis > LD	0
LD (µg/l): 6,0		LD (mBq/l): 4,1	
radionucleidos analizados en aguas superficiales, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	<LD	Máximo (mBq/l)	17,2
Mínimo (µg/l)	na	Mínimo (mBq/l)	na
N° muestras analizadas	1	N° muestras analizadas	1
N° análisis > LD	0	N° análisis > LD	1
LD (µg/l): 6,0		LD (mBq/l): na	
radionucleidos analizados en aguas de consumo humano de Patquía			
uranio natural (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
15,9		<LD	
LD = na		LD = 4,0	
radionucleidos analizados en el agua termal de la zona de influencia			
uranio natural (µg/l)		radio 226 (mBq/l)	
<LD		60,5	
LD = 0,5		LD = na	
radionucleidos analizados en aguas subterráneas			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/l)	na	Promedio (mBq/l)	na
Máximo (µg/l)	11,4	Máximo (mBq/l)	181,5
Mínimo (µg/l)	<LD	Mínimo (mBq/l)	<LD
N° muestras analizadas	3	N° muestras analizadas	2
N° análisis > LD	1	N° análisis > LD	1
LD (µg/l): 6,0		LD (mBq/l): 4,1	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas arriba de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	2,2	Promedio (mBq/g)	39,1
Máximo (µg/g)	3,1	Máximo (mBq/g)	46,7
Mínimo (µg/g)	1,2	Mínimo (mBq/g)	31,5
N° muestras analizadas	2	N° muestras analizadas	2
N° análisis > LD	2	N° análisis > LD	2
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	
radionucleidos analizados en sedimentos, aguas abajo de la instalación			
	uranio natural		radio 226
Promedio (µg/g)	na	Promedio (mBq/g)	na
Máximo (µg/g)	3,0	Máximo (mBq/g)	68,6
Mínimo (µg/g)	na	Mínimo (mBq/g)	na
N° muestras analizadas	1	N° muestras analizadas	1
N° análisis > LD	1	N° análisis > LD	1
LD (µg/g): na		LD (mBq/g): na	

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

## Conclusiones

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido valores guía de concentración de actividad de radionucleidos para agua potable en el Capítulo 9 de la Revisión 3 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), en el Capítulo 9 de la Revisión 3 de su “Guía para la Calidad del Agua Potable”.

Respecto a las determinaciones realizadas en muestras de sedimentos, a modo de referencia, se comparan los valores medidos con los valores reportados en el año 2000/2008 por el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR, por su sigla en inglés) 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	587	16,1	646

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 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 2010 se recolectaron 26 muestras y se efectuaron sobre las mismas diversos tipos de análisis y determinaciones radioquímicas de los distintos radionucleidos de interés.

Se detectaron niveles muy bajos de estroncio 90 en muestras de fruta, atribuibles al fallout ambiental. Asimismo, 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 medida en la zona resultó igual a 38,3 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	Radionucleído a analizar <sup>(1)</sup>	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de ensayo
Tasa de dosis ambiental	emisores gamma	continua, con dosímetros (TLD)	anual
Aerosoles totales en aire	emisores gamma	continua	pool trimestral
	estroncio 90		
	uranio natural	semestral (integrado de pool trimestral)	semestral
	tritio		
Agua del Río de La Plata	emisores gamma	semestral	semestral
	uranio natural		
	emisores gamma		
Leche	estroncio 90	trimestral	trimestral
	emisores gamma		
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	
38,3	

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 natural <sup>(*)</sup>
Promedio ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	na	na	na	na
Máximo ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	<LD	<LD	<LD	2,4 (0,000097 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Mínimo ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )	na	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4	1
N° análisis > LD	0	0	0	1
LD ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ): cesio 0,7; cobalto 0,4; estroncio 1,6				

(\*) Para expresar la masa en actividad se utilizó la actividad específica del uranio natural, que es de 0,025 Bq/ $\mu\text{g}$  (NPL Report IR6, enero 2008).

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 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ): cesio 0,20; cobalto 0,10; estroncio 0,06			

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

Concentración de actividad en leche de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Gran Buenos Aires			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio ( $\text{Bq}/\text{l}$ )	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{l}$ )	<LD	<LD	<LD
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{l}$ )	na	na	na
N° muestras analizadas	4	4	4
N° análisis > LD	0	0	0
LD ( $\text{Bq}/\text{l}$ ): cesio 0,01; cobalto 0,01; estroncio 0,04			

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

Concentración de actividad en alimentos vegetales de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Gran Buenos Aires			
frutas			
período	cesio 137	cobalto 60	estroncio 90
Promedio ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	na	na	na
Máximo ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	<LD	<LD	0,08
Mínimo ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )	<LD	<LD	<LD
N° muestras analizadas	2	2	2
N° análisis > LD	0	0	1
LD ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ): cesio 0,010; cobalto 0,007; estroncio 0,030			

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 0,009; estroncio 0,067			
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 0,008; cobalto 0,008; estroncio 0,074			
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 0,008; cobalto 0,008; estroncio 0,040			

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 (incolore, insípido e inodoro) denominado radón. El Comité Científico de las Naciones Unidas sobre 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/m<sup>3</sup>. 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 <sup>3</sup> )	Número de viviendas medidas hasta 2010
Mendoza	48,6	1284
Corrientes	47,9	109
Buenos Aires	33,2	464
Chaco	49,4	35
Santa Fe	31,5	61
San Luis	41,9	228
Chubut	67,7	386
Santiago del Estero	26,9	80
Río Negro	35,2	73
Córdoba	58,1	369
Entre Ríos	79,4	17
Tierra del Fuego	28,1	27
Salta	62,5	17
Santa Cruz	100,9	20
<b>Argentina*</b>	<b>49,0</b>	<b>3170</b>

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

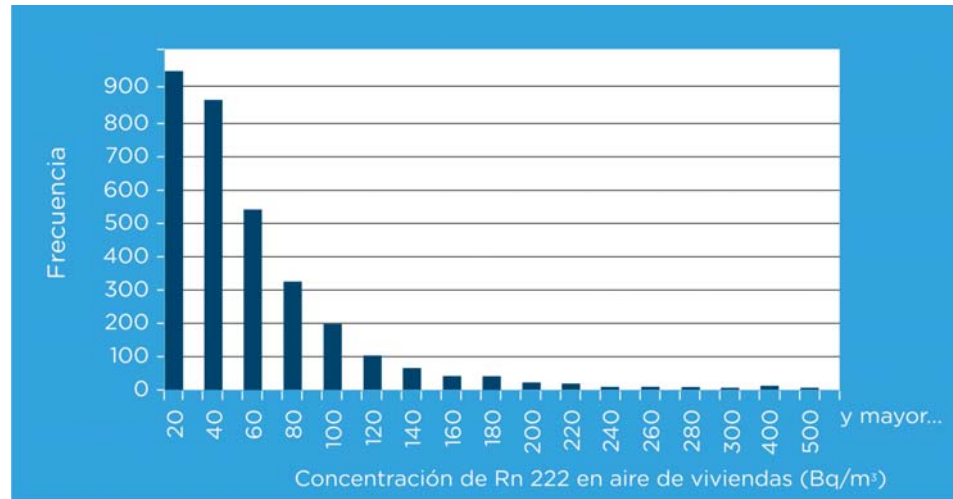
En la **Figura 24** se observa la distribución de la concentración de radón en viviendas, por rango de actividad:

El valor medio de la concentración de radón, considerando las 3119 viviendas monitoreadas, desde 1983 hasta el año 2009 en todo el país, resultó ser de 47,3 Bq/m<sup>3</sup>.

Cabe recordar que 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/m<sup>3</sup>, se deben adoptar medidas para reducir la concentración del gas radón, como, por ejemplo, ventilar los ambientes.



**Figura 24.**  
Distribución de  
la concentración  
de radón en  
viviendas por  
rango de  
actividad



### Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos se observa que los valores promedios de las distintas provincias argentinas se encuentran como máximo en 100,9 Bq/m<sup>3</sup>, no superando los 400 Bq/m<sup>3</sup>.

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 los valores aceptables para la población.

## Actividades de Apoyo Científico Técnico

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.
- 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 m<sup>2</sup> de laboratorios instalados dedicados a: la dosimetría física (dosimetría termoluminiscente 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.

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.

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 pre-

paración 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 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 por fluorimetría en agua	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

A comienzos del 2010, se alcanzó la Acreditación del Laboratorio de Dosimetría Biológica. Recientemente, se recibió a los nuevos Evaluadores del OAA para la Reacreditación de los Laboratorios de Control Ambiental, estimándose tener el dictamen final en los primeros días de enero de 2011. 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 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 las mediciones.