

## MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I, EN EL MARCO DE LA LÍNEA BASE AMBIENTAL DE LA CENTRAL NUCLAR ATUCHA II

Chesini, A.<sup>1</sup>, Poletti, S.<sup>1</sup>, Tarela, P.<sup>2</sup>, Perone, E.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Central Nuclear Atucha, Nucleoeléctrica Argentina S.A.  
<sup>2</sup>CCyA Ingeniería

### RESUMEN

Se concluye que las actividades anuales por inhalación de tritio emitido desde la chimenea de LA Central Nuclear Atucha I (CNA I) y recibidas por el público están por debajo del 1% del Nivel de Referencia adoptado para una dosis anual de 0.05 mSv.

Estos resultados se refieren únicamente a las emisiones de tritio desde la chimenea de CNA I, aunque se observó que en términos de actividad son las más significativas.

- Los máximos promedios anuales se dan en las Estaciones A, B y C de monitoreo de NASA, con valores de entre 5 y 18 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente.
- Los mínimos promedios anuales se dan en las Estaciones D y E de monitoreo y en la Escuela 20, con valores de entre 0.15 y 0.20 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente. Valores similares se obtienen en el Barrio Atucha y Estación San José.
- Se observa que hacia las direcciones W y WSW aparecen los impactos de mayor alcance, debido a que los vientos han predominado claramente de los sectores E y ENE en este período. En la zona de impacto se observan actividades promedio anuales de entre 3 y 10 Bq/m<sup>3</sup> a más de 5 km de CNA I.

### 1. INTRODUCCIÓN

Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NASA) realizó un convenio de asistencia técnica con la Facultad Regional General Pacheco (FRGP) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), a los efectos de ser asistida en la realización de estudios ambientales, los cuales se presentan en este Final. CCyA Ingeniería y el Centro Tecnológico de UTN FRGP llevaron a cabo el presente Servicio para el Cumplimiento del Programa del Estudio Base Ambiental Radiológico del Área de CNA II, dentro del marco del convenio entre Nucleoeléctrica Argentina S.A. y la Facultad Regional General Pacheco de la Universidad Tecnológica Nacional.

## **2. DESCRIPCIÓN**

El objeto del trabajo fue la determinación de la Línea de Base Ambiental Radiológica en el área de la Central Nuclear Atucha II (CNA II), Provincia de Buenos Aires. Para ello se realizaron tareas de muestreo, preparación y análisis de laboratorio de las muestras obtenidas, y análisis de resultados, que se presentaron en el Tomo I. Además, se realizaron estudios de transporte de contaminantes mediante modelado matemático de calidad de aguas (Tomo II) y calidad de aire (presente Tomo III).

## **3. ALCANCE**

Las tareas principales que se han llevado a cabo fueron las siguientes: a) Realización de las campañas de monitoreo ambiental radiológico en las siguientes matrices:

- Suelos
- Leches
- Tasa de dosis equivalente ambiental
- Aguas superficiales
- Aguas subterráneas
- Sedimentos de río
- Aire: polvo en suspensión, agua de lluvia y humedad atmosférica

b) Preparación y logística de muestras: Las muestras obtenidas fueron rotuladas, preservadas y, cuando era necesario, preparadas en laboratorio propio para luego ser derivadas a los distintos laboratorios de análisis radiológico. La logística se llevó a cabo con cadena de custodia de las muestras obtenidas, consistente en registro trazable del movimiento de las mismas desde el punto de extracción hasta su entrega en los laboratorios. c) Análisis de resultados: Las muestras fueron analizadas por 4 laboratorios:

- Laboratorio de Dosimetría de NASA, CNA I,
- Laboratorio de Dosimetría Personal y de Área (DPA), de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en el Centro Atómico Ezeiza (CAE),
- Laboratorio de Espectrometría del Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, CNEA – CAE.
- Laboratorio Metrología de Radioisótopos, CNEA - CAE

De cada uno se obtuvieron los correspondientes protocolos con resultados analíticos obtenidos. Los resultados analíticos de laboratorio fueron incorporados a una base de datos electrónica para su ordenamiento y conservación. Se realizó un análisis objetivo de los mismos, mediante la obtención de indicadores estadísticos, confección de gráficos de evolución y/o distribución y comparación de los resultados con niveles de referencia, tanto nacionales como internacionales. d) Modelado matemático: Se llevaron a cabo 2 estudios que complementan la caracterización de línea de base en las matrices

aire y aguas superficiales, para determinar el radio de influencia de la CNA I, como línea de base ambiental para la CNA II. En el caso de las aguas, se implementó un modelo 3D hidrodinámico y de transporte de contaminantes para evaluar el impacto actual de las descargas de la CNA I río abajo. El modelo contempla el tramo fluvial desde la boya 144 en el río Paraná hasta el Río de la Plata. Para la matriz aire, se implementó un modelo 3D de transporte de contaminantes para evaluar la dispersión de los compuestos erogados a través de la chimenea de CNA I, en un radio de influencia de 10 km a la redonda..

## **4. METODOLOGÍA**

En este Tomo III se utiliza el sistema inglés para la presentación de números, esto es, el “punto” como separador de decimales, y la “coma” como separador de miles. En general, este es el criterio que se aplica internacionalmente para la presentación de trabajos de modelado matemático.

### **4.1 MODELADO MATEMATICO**

#### **4.1.1 OBJETIVO**

El objetivo de esta parte del estudio fue complementar la información recolectada en el monitoreo radiológico con análisis alternativos que permitan tener una visión más general del impacto de la CNA I, lo que da lugar a la línea de base para el seguimiento posterior del impacto de la CNA II. Para ello, se realizó un modelado matemático de la descarga gaseosas de la CNA I, y se evaluó el impacto en la calidad de aire circundante, dentro de un radio de 10 km a la redonda.

#### **4.2 ALCANCE**

La CNA I produce emisiones gaseosas a la atmósfera mediante:

- La descarga del sistema de ventilación del edificio auxiliar del reactor

La descarga es del tipo continua y forzada, erogando el aire de los sectores ventilados del edificio auxiliar del reactor. Entre los radionucleídos erogados, se destaca por su actividad el Tritio. Considerando que esta es la principal fuente de emisión gaseosa y que el parámetro más representativo es el Tritio, se decidió para este primer estudio simular lo siguiente:

- Impacto radiológico en la calidad de aire circundante, debida a la emisión de aire de ventilación con carga radiactiva debida a la presencia de Tritio.

#### **4.3 MODELO UTILIZADO**

Para cuantificar el efecto de las descargas de la CNA I, se aplicó un modelo matemático 3D de dispersión de contaminantes atmosféricos.

El estudio de dispersión de Tritio se llevó a cabo utilizando el modelo matemático de dispersión de contaminantes atmosféricos SofIA (Software de Impacto Atmosférico),

desarrollado por los Consultores y publicado a nivel internacional (Tarela and Perone 2002a, 2005).

- Tarela, P. A. and Perone, E. A., SofIA: A Cost-Effective Computational System for Linking Air Pollutant Emissions and Population Exposure, Applications of Computational Mechanics in Structures and Fluids, Ed. by S.R. Idelsohn and V.E.Sonzogni, CIMNE, A Serie of Handbooks on Theory and Engineering Applications of Computational Methods. ISBN 84-95999-85-4. Barcelona (2005).
- Tarela, P.A. and Perone, E.A., SofIA: an Integrated Computational Model for Air Quality, First South-American Congress on Computational Mechanics (2002a).

El modelo es del tipo determinístico y permite cuantificar la dispersión tridimensional (3D) de gases contaminantes provenientes de distintos tipos de fuentes, en particular

- fuentes puntuales, como la chimenea de descarga de CNA I.

El modelo contempla los mecanismos físicos esenciales que producen la dispersión de los gases erogados. Entre ellos se cuentan el momentum inicial, el proceso de flotación térmica y la dilución por entrainment de aire ambiente (campo cercano), y la dispersión posterior de las plumas por acción conjunta de la advección y la difusión turbulenta (campo lejano). Además de las características de emisión de cada fuente, se tienen en cuenta las condiciones del terreno y de la atmósfera en la zona de estudio. Una particularidad del modelo SofIA es que incorpora en el mismo sistema computacional la posibilidad de realizar estudios de sondeo detallado o dispersión compleja bajo condiciones atmosféricas estadísticas (provenientes de una estación meteorológica actual o de datos históricos). En el primer caso, se barre un conjunto predeterminado de condiciones atmosféricas rígidas con el objeto de analizar inicialmente escenarios y contaminantes potencialmente conflictivos. Esta metodología se aplica al caso de fuentes puntuales, ya que está desarrollada para emisiones desde chimeneas. En el segundo caso, se utilizan resultados de mediciones meteorológicas. Dentro del modelo opera un pre-procesador meteorológico, de modo de determinar las características físicas atmosféricas de la zona de estudio y, consecuentemente, las propiedades de difusión turbulenta. Como salida, el modelo permite obtener las concentraciones de contaminantes a la altura de interés. Dicha salida es georeferenciada, pudiéndose trabajar a partir de un sistema GIS o adaptar al layout local de definición de la planta bajo estudio u otro sistema de referencia de trabajo (coordenadas geográficas, etc.). El posprocesador del modelo permite obtener distintos datos de interés, entre los que se pueden mencionar:

- Zona de influencia de la planta (por ejemplo, definida como aquella para la cual un estándar de calidad de aire local vigente o nivel guía es superado).
- Puntos críticos (casas, escuelas, hospitales, poblados, etc.).
- Escenario georeferenciado de peor situación (condiciones meteorológicas y de operación de la planta para la cual las concentraciones resultan máximas).
- Estudio de plumas individuales o de toda la planta para casos particulares de interés.
- Promedios temporales georeferenciados (horarios, 8 horas, diario, anual).

SofIA ha sido utilizado en diversas aplicaciones, entre las que se pueden mencionar impactos urbanos, de plantas industriales de distintas características, de Polos Petroquímicos y de centrales de generación de energía eléctrica:

- Air Quality Modeling of the Buenos Aires Metropolitan Area, Integrated Environmental Strategies Project, prepared for United States Environmental Protection Agency (US EPA) and National Renewable Energy Lab., USA (2002b).
- Plan de Acción Estratégico para el área portuaria-industrial de Dock Sud, financiado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) (2003a).
- Estudios de impacto ambiental atmosférico para plantas compresoras de gas natural, centrales térmicas, plantas químicas, estaciones depuradoras e instalaciones de almacenamiento de combustibles (2002-2014).
- A partir de este conjunto de aplicaciones, el modelo ha sido calibrado y validado con éxito en sucesivas ocasiones.

#### **4.4 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO**

##### **4.4.1 Indicador de emisiones**

Se utilizó como indicador el tritio ( $^3\text{H}$ , isótopo del hidrógeno) dado que, como se mostrará más adelante, es el parámetro radiactivo más representativo de aquellos erogados por la chimenea de ventilación de CNA I. Se lo puede encontrar en la naturaleza en distintas situaciones, tanto en aire como en agua. Se produce naturalmente por la interacción de rayos cósmicos con nitrógeno (formando  $^3\text{H}$  y  $^{12}\text{C}$ ) o deuterio (formando  $^3\text{H}$  y  $^1\text{H}$ ).

##### **4.4.2 Tasa de decaimiento**

Debido a que el tritio tiene una vida media de 12.3 años, a los efectos de la evaluación de concentración en aire y para el radio de influencia definido en 10 km alrededor de CNA I, se lo ha considerado como un contaminante conservativo. Esto es, se ha despreciado el decaimiento natural, dado que el transporte dentro del radio de estudio se realiza en cuestión de decenas de minutos a, a lo sumo, unas pocas horas.

##### **4.4.3 Nivel de fondo**

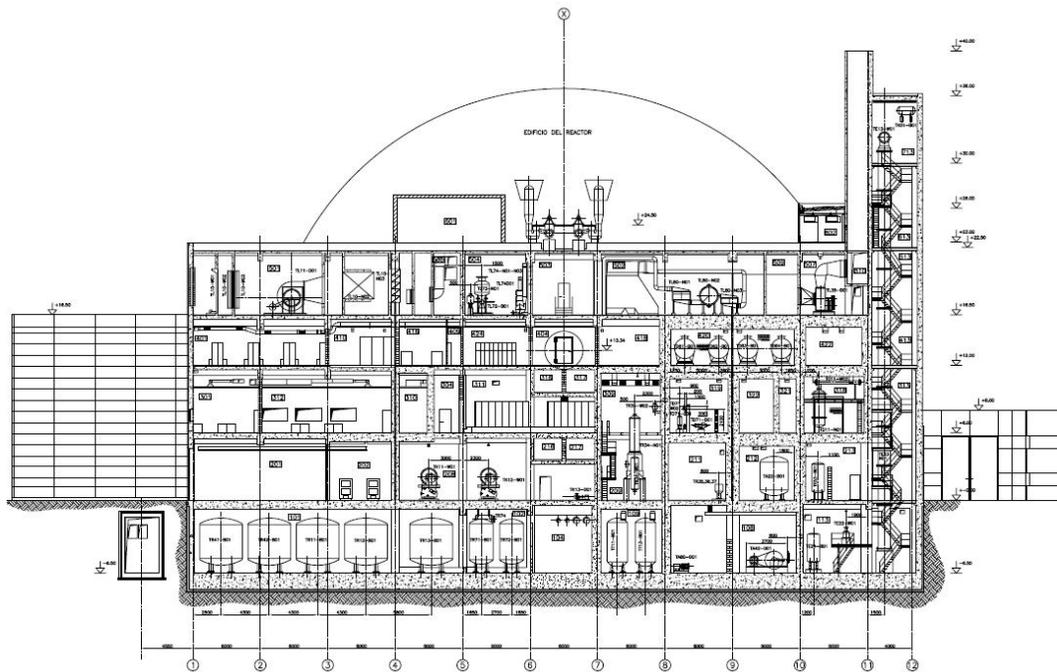
En este proyecto no se han realizado mediciones directas de tritio en aire en zonas completamente aisladas de CNA I. Sin embargo, se contó con 1 medición en la estación de referencia de Zárate, la cual arrojó un valor por debajo del límite de detección en ambos laboratorios actuantes ( $<45$  Bq/L y  $<31$  Bq/L, respectivamente). Estos límites equivalen, en actividad de tritio en aire, a umbrales del orden de 0.3-0.4 Bq/m<sup>3</sup>.

Ahora bien, los valores citados del límite de detección son relativamente altos si se considera el nivel de radiación de fondo natural de tritio en la superficie terrestre. De acuerdo a un informe reciente del Fermilab (Cossairt, 2012), en condiciones de equilibrio el vapor de agua en aire contiene una actividad de tritio de  $1.66 \cdot 10^{-2}$  pCi/ml. Luego, para una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 50%, surge una actividad de fondo natural de  $5 \cdot 10^{-3}$  Bq/m<sup>3</sup>, muy inferior a los niveles citados. Como se puede observar, no se pueden utilizar los umbrales de detección para definir actividades de fondo. Siendo así, se consideró el impacto relativo de CNA I sobre el aire

circundante, esto es, se tomó nula la actividad de fondo natural. No obstante, a los efectos de la evaluación de los resultados obtenidos, se tuvo en cuenta el valor de referencia arriba indicado ( $5 \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ ).

#### 4.4.4 Georeferenciación

La geometría de la CNA I se obtuvo a partir de los planos aportados por NASA. Para esta aplicación, la única fuente es la chimenea de ventilación del edificio auxiliar del reactor. Se trata de un conducto regular de 40 metros de altura. El domo del reactor y el propio edificio en conjunto configuran un obstáculo para la dispersión libre del efluente gaseoso, por lo cual fueron incorporados al modelo digital. Nótese que el domo tiene una altura de 36 metros, apenas 4 metros menos que la chimenea.



Se utilizaron imágenes satelitales para definir el marco del modelo y establecer la posición de puntos de interés. La chimenea, edificios y estaciones de seguimiento fueron localizados en forma georeferenciada en un sistema común de coordenadas, para realizar las simulaciones del conjunto de emisiones. Se trabajó sobre una imagen satelital de la CNA I y sus alrededores. La tabla siguiente indica la localización de la chimenea (colocada en el centro geométrico del modelo) y 17 puntos de interés o “Estaciones de Seguimiento”:

Tabla 4.4.1 Estaciones de seguimiento del modelo y posición.

Estación		X (m)	Y (m)
0	Chimenea	0	0
1	Barrio Atucha	1157	-7776
2	C14	423	-5438

	3	El Gato	-334	2574
	4	Puerto Molca	6681	-7068
	5	Santa Rosa	-4875	-5333
	6	Cameron	2934	477
	7	Casilla A	-961	190
5.	8	Casilla C	56	-813
	9	San Jose	-6075	3538
	10	Escuela 20	-7178	-1450
	11	Escuela 31	2164	-2694
	12	Casilla B	-892	-585
	13	Casilla D	1239	-8522
	14	Casilla E	1350	-7282
	15	Muelle Club de Pesca	2791	-804
	16	Plaza	950	-8693
	17	Bomberos Voluntarios	964	-8238

X: Hacia el Este

Y: Hacia el Norte

#### 4.4.5 Parámetros numéricos

Para cubrir el radio previsto de 10 km a la redonda del reactor de CNA I, se trabajó sobre una red de cálculo que abarca una extensión horizontal de 20 km x 20 km de lado (400 km<sup>2</sup>). La aptitud de esta extensión se verificó a partir de corridas preliminares para evaluar el radio de influencia de la planta, y en función de los receptores sensibles de interés. El paso de discretización fue tomado en 100 m en ambas direcciones horizontales y en la vertical se obtuvieron resultados en distintas capas, siendo la de interés mayor aquella a nivel de respiración. Los resultados mostrados a continuación y las respectivas conclusiones, hacen referencia únicamente a las concentraciones a nivel de respiración.

En la vertical se trabajó desde el nivel de piso hasta la altura de la capa de inversión resultante de cada escenario (máximo 10,000 m). El número total de nodos de cálculo fue de 40,000 por capa de cálculo. Desde el punto de vista temporal, se trabajó con integraciones horarias, compatibles con el modelo utilizado y con la base de datos meteorológicos y de emisión disponibles (ver más abajo). Se utilizó el período jul2012 a jun2013, coincidente con el período principal de monitoreo, por lo que el total de días simulados asciende a 365, estos es, un total de 8,760 horas de simulación efectiva. De esta manera, el número de grados de libertad considerando únicamente las discretizaciones espacial y temporal, es de alrededor de 350,400,000 incógnitas para la capa de examinación a la altura de respiración. Cada incógnita es la actividad de tritio por unidad de volumen de aire ambiente.

#### 4.4.6 Determinación de tasas de emisión

La chimenea de ventilación del edificio auxiliar del reactor cuenta con un sistema de monitoreo on line, que registra tanto el caudal de aire como el flujo de radionucleídos. NASA aportó los datos de estas variables, los cuales fueron analizados y adaptados para ser utilizados en el modelado. El pre-procesamiento de datos incluyó la obtención de los valores medios horarios de emisión para todas las variables involucradas. Se tomó el

criterio de realizar las simulaciones para un período anual acorde al período de monitoreo del proyecto, resultando:

- Inicio de la simulación: 00:00 hs del 01jul12
- Fin de la simulación: 23:00 hs del 30jun13

Para este período, el caudal de ventilación promedio es de 165,000 m<sup>3</sup>/h, el cual se mantuvo relativamente estable, a excepción de los primeros 50 días del período (ver figura siguiente). Los valores máximos registrados están un 13% por sobre el promedio. No ocurre lo mismo con el perfil de emisión de tritio, del cual se observan importantes fluctuaciones. En este caso, para un promedio anual de 3.4 10<sup>-2</sup> Ci/min.

Nótese que la emisión de actividad de tritio es, en promedio, 1 orden de magnitud superior al resto de los elementos monitoreados. Esto, en conjunto con los resultados obtenidos en las mediciones, llevó a decidir para esta primera simulación, proseguir con el tritio como indicador principal a simular.

*Tabla 4.4.2 Estadísticos de los parámetros de emisión para el período simulado.*

<b>Indicador</b>	<b>3H (Ci/min)</b>	<b>Gases Nobles (Ci/min)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
Promedio	3.38E-02	3.24E-03	1.65E+05

#### **4.4.7 Datos meteorológicos**

El modelo SofIA incluye un pre-procesador de datos meteorológicos. Como ya se mencionó, se utilizaron los datos disponibles de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) de CNA I.

Se realizó primeramente un completamiento de algunos datos faltantes, siguiendo las recomendaciones de la EPA para el procesamiento de datos meteorológicos. Los datos disponibles fueron primero procesados para obtener los promedios horarios para el período de simulación (jul2012-jun2013).

Las EMA de CNA I no registran datos de altura ni radiación solar incidente. Luego, se han utilizado algunos datos disponibles para complementar la base de información meteorológica requerida por el modelo, siendo este un aspecto a mejorar en futuras modelizaciones.

Luego, para determinar las alturas de la capa de mezcla se trabajó con un criterio conservativo aplicando un modelo puramente convectivo.

Debido al escaso desarrollo superficial del río Paraná como cuerpo de agua adyacente al predio de CNA I, no se penalizó la altura de mezcla por la potencial presencia de una capa límite térmica interna, desarrollada sobre la costa del predio de CNA I.

Algunas características a señalar son:

- El viento predomina marcadamente del sector Este, alcanzando el 30,1% para los sectores E y ENE,
- No hay datos de viento del sector Sur, lo cual se asocia a un fallo del equipo de medición que sesga esta dirección,
- Se aprecia una intensidad del viento superior en el segundo semestre de 2012, respecto del primer semestre de 2013,
- Se aprecia mayor cantidad de lluvias en el segundo semestre de 2012

En términos estadísticos, se obtuvieron estos resultados para el período, los cuales están dentro de las previsiones para la zona.

*Tabla 4.4.3 Indicadores estadísticos de los parámetros meteorológicos durante el período simulado.*

<b>Indicador</b>	<b>Temperatura (C)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Viento (km/h)</b>	<b>Presión (hPa)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>
Promedio	17.3	75.0	8.4	1008.9	0.28

## **5 RESULTADOS DEL MODELADO MATEMÁTICO**

### **5.1 VALIDACION**

Para validar el modelo se deberían contrastar sus resultados con mediciones directas de campo, para un período en común. Sin embargo, en el proyecto no se han realizado mediciones directas de actividad de tritio en aire ambiente, dado que se espera una actividad muy baja. Entonces, a los efectos de realizar una verificación de la aptitud del modelo para representar las emisiones de CNA I en relación a su impacto en el área circundante, se llevó a cabo una comparación indirecta. Para ello, se realizó la simulación de las emisiones de tritio durante el período señalado en el Capítulo anterior, y se evaluaron los resultados obtenidos en forma indirecta, en relación a los resultados aportados por las mediciones realizadas en el mismo período en las Estaciones de monitoreo de CNA I. En estas estaciones, se obtienen muestras de condensado de humedad y agua de lluvia, por lo que se analiza la actividad de tritio en base acuosa.

Por su parte, a modo de ejemplo se muestran las salidas del modelo en 2 estaciones de seguimiento:

- Estación A: la más próxima en la dirección de los vientos predominantes durante el período
- Estación E: la más próxima a las áreas pobladas de Lima

En el Anexo se presentan las salidas en todas las estaciones de seguimiento.

Nótese que existe una diferencia notable entre el rango de los valores obtenidos en ambas estaciones.

Del modelo se obtuvieron los siguientes resultados expresados como actividad promedio anual y actividad máxima horaria:

*Tabla 5.1.1 Tritio en Estaciones de Seguimiento, salida del modelo.*

<b>Parámetro (unidad)</b>	<b>Estación A</b>	<b>Estación B</b>	<b>Estación C</b>	<b>Estación D</b>	<b>Estación E</b>
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	17.8	4.8	8.7	0.20	0.15

Para realizar la comparación, se utilizan los datos del modelo obtenidos en las 5 estaciones de seguimiento, como promedio anual de actividad de tritio. Por el otro, se ha evaluado el conjunto de resultados obtenidos con las muestras en las estaciones. Se extrapolaron estos valores de fase acuosa (medidos en actividad por unidad de volumen de agua recolectada) a valores de fase gaseosa (actividad por unidad de volumen de aire), utilizándose los valores promedios anuales de temperatura y humedad relativa. Se observa un muy buen acuerdo entre las predicciones del modelo y las extrapolaciones realizadas con los datos medidos en las Estaciones B, D y E. En la Estación A, el modelo supera a la actividad medida.

Nótese que se ha excluido la Estación C puesto que su sistema de captación de condensado de humedad ha estado fuera de servicio durante el período de estudio.

En líneas generales, se aprecia una consistencia muy razonable entre las predicciones de la herramienta computacional y los datos de monitoreos disponibles.

Lo anterior indica que el modelo presenta capacidades de predicción realistas, y a los efectos de este primer estudio de simulación se lo ha considerado validado.

De todas formas, se debe considerar que en este primer estudio se debieron realizar ciertos ajustes y complementos de datos debido a carencias en las bases disponibles del sitio.

Asimismo, los datos disponibles de monitoreos que pueden llegar a contrastarse con las salidas del modelo, surgen de las Estaciones de NASA que han sufrido inconvenientes de falta de electricidad, apagado de equipos, interrupciones de adquisición de muestra, etc.

Si bien no se tiene presente el detalle del análisis de tritio en muestras líquidas realizado en cada laboratorio, se debe considerar que la atenuación del agua podría producir una subestimación del resultado obtenido, dependiendo de cómo se interprete el mismo (Tarela et al., 1994).

Por ello, lo que se ha realizado es una confirmación de compatibilidad de resultados. Con el modelo validado, se procede a la etapa de simulación en las secciones siguientes.

### **5.2.1 Impacto medio anual**

En el Anexo de figuras de distribución espacial de resultados del modelo se presenta una figura con la actividad promedio para toda la zona simulada. Abajo se reproduce esta figura, en escala pequeña.

La forma de estrella de la figura de colores es debida a las 16 direcciones de viento que registra la EMA de CNA I, de forma que cuanto más alejado se está del punto de emisión, mayor apertura angular ocurre. Por ello, entre direcciones de viento adyacentes se debe considerar que el campo real es una combinación de los resultados sobre esas dos direcciones.

Siendo así, se observa que hacia las direcciones W y WSW aparecen los brazos mas prolongados, debido a que los vientos han predominado de los sectores E y ENE en este período. En la zona de impacto se observan actividades promedio anuales de entre 3 y 10 Bq/m<sup>3</sup> a más de 5 km de CNA I.

En las demás direcciones esta influencia es menor, con valores que caen por debajo de 3 Bq/m<sup>3</sup> a distancias de entre 3 y 8 km, dependiendo de la dirección.

Actividades por sobre 10 Bq/m<sup>3</sup> aparecen dentro de un radio del orden de 2 km desde la chimenea de CNA I, a excepción de las direcciones W-WSW, donde se alcanza este rango hasta los 5 km aproximadamente.

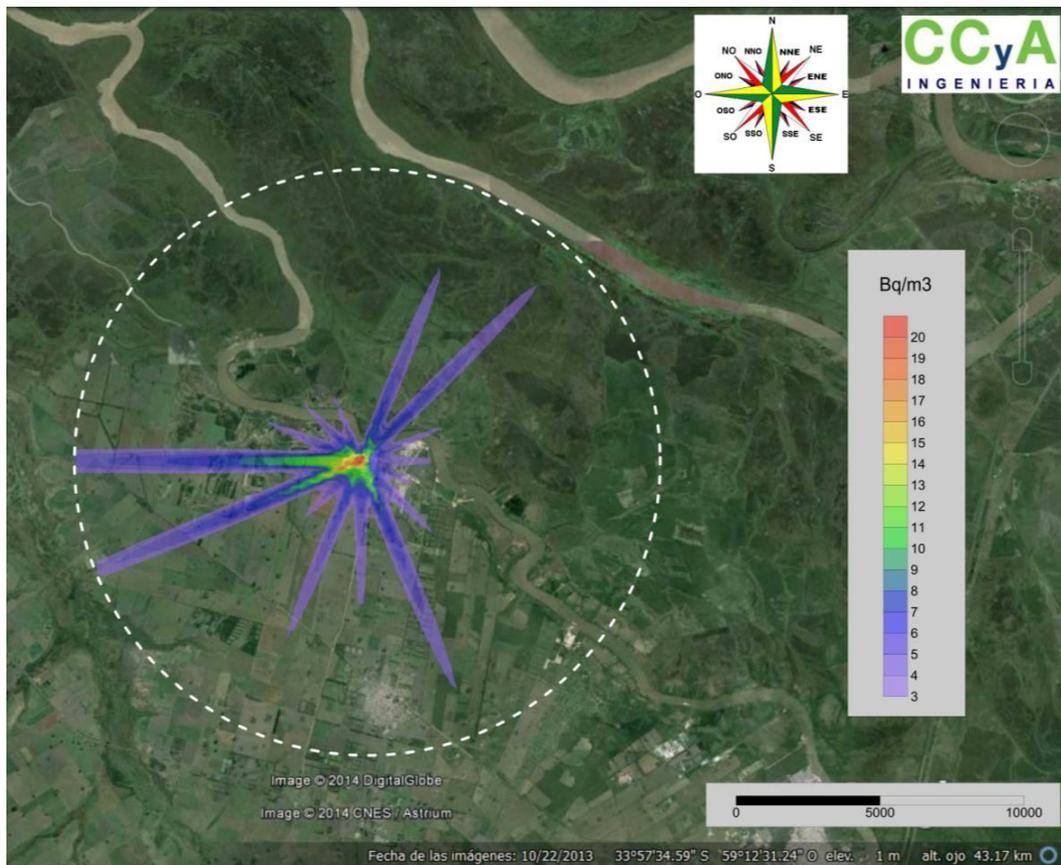
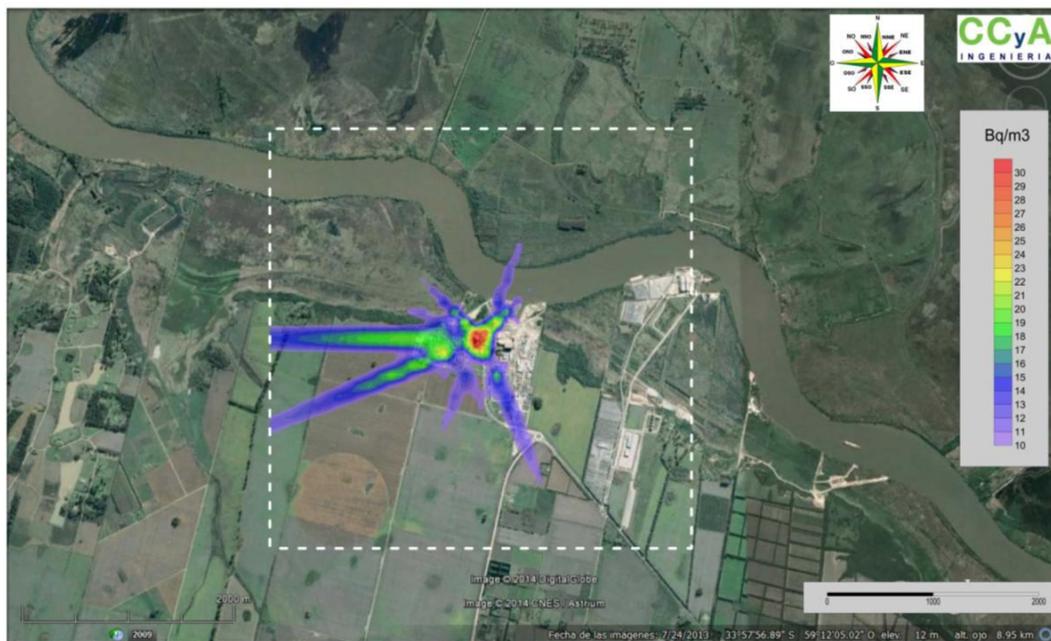


Figura 5.2.1 Campo de distribución espacial de actividad promedio anual. Radio de simulación de 10 km.

Las actividades promedio anual mayores se dan en el entorno mismo de CNA I. Para observarlo en detalle se preparó la figura del Anexo, para un radio de simulación de hasta 2 km desde CNA I. Abajo se reproduce esta figura, en menor detalle.

Esta figura permite observar que a 1,500 m del reactor se han superado los 20 Bq/m<sup>3</sup> en promedio, alcanzando el campo adyacente (aunque se trata de una zona despoblada).

Dentro del predio de CNA I y en el entorno del reactor, se superan los 30 Bq/m<sup>3</sup> como promedio anual. Nótese que no se observa el típico hueco alrededor de una chimenea alta como esta, habida cuenta del efecto de remoción por la interferencia aerodinámica del propio edificio auxiliar y domo del reactor, que generan una estela con recirculación de las emisiones gaseosas.



*Figura 5.2.2 Campo de distribución espacial de actividad promedio anual. Radio de simulación de 2 km.*

### 5.2.2 Impacto máximo

En el Anexo se presenta una figura con la distribución espacial de máximos para el área de simulación (radio de 10 km), la cual se reproduce aquí en menor escala.

Para este período, con viento del SW se han desarrollado máximos que alcanzan los 2,000 Bq/m<sup>3</sup> hasta a 10 km de distancia del reactor. En las demás direcciones esto no ocurre a más de 5 km. Se aprecia en el campo de distribución espacial de máximos que los mimos ocurren concentrados en el entorno cercano de la central nuclear.

Para observar con mayor detalle esto último, se preparó la figura del Anexo, reproducida aquí en escala menor. Ahora se visualiza que máximos por sobre 10,000 Bq/m<sup>3</sup> únicamente ocurren en el predio de las centrales y en el río Paraná, frente a CNA

I. Entre el domo del reactor de CNA I y la costa del río, existe una zona del predio donde se desarrollaron eventos horarios que incluso se han superado los 30,000 Bq/m<sup>3</sup>.

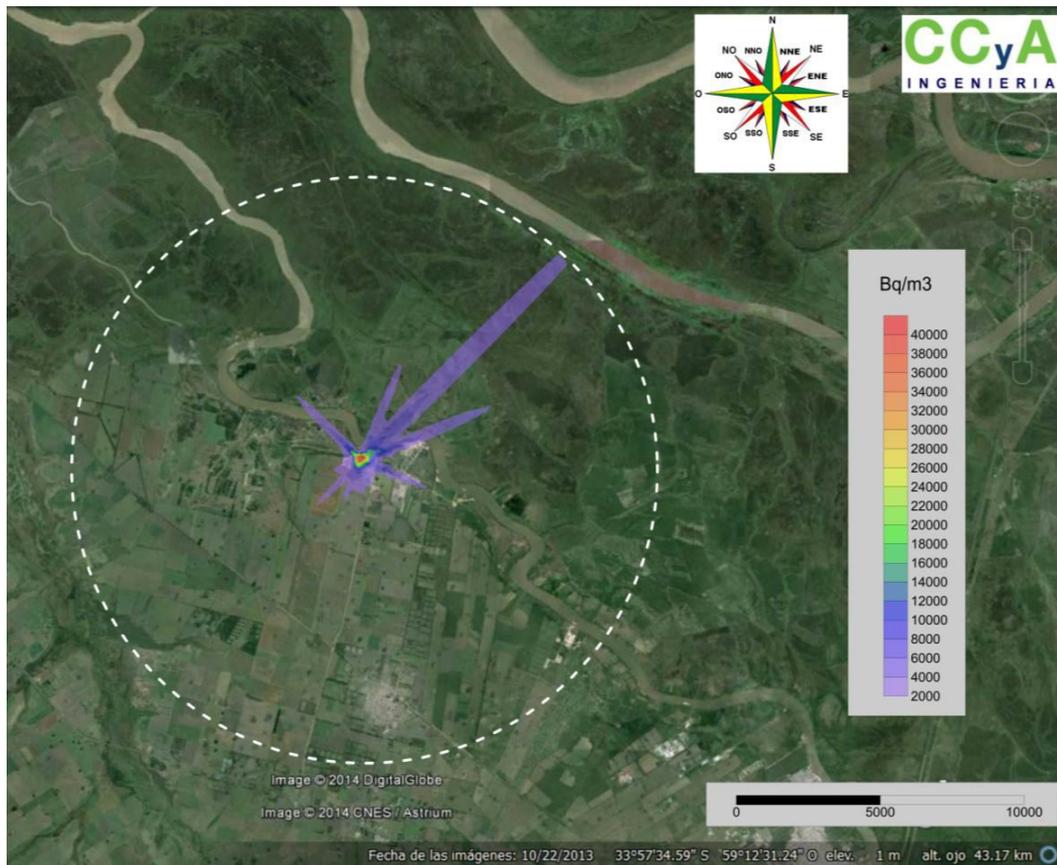


Figura 5.2.3 Campo de distribución espacial de actividad máxima. Radio de simulación de 10 km.



Figura 5.2.4 Campo de distribución espacial de actividad máxima. Radio de simulación de 2 km.

### 5.3 EVOLUCIÓN EN ESTACIONES DE SEGUIMIENTO

Con el modelo se ha obtenido la evolución de la actividad de tritio en el conjunto de 17 estaciones de seguimiento.

Para cada estación, se registra el resultado horario, para luego proceder a su procesamiento estadístico y gráfico.

En el primer caso, se obtuvieron los indicadores de promedio anual y máximo valor horario de actividad de tritio.

En el segundo caso, se pueden apreciar las salidas para las 17 estaciones, reproduciéndose aquí solo algunos casos de interés para la discusión de resultados.

Tabla 5.3.1 Indicadores promedio anual y máximo horario de la actividad de tritio en estaciones de seguimiento.

<b>Parámetro (unidad)</b>	<b>Barrio Atucha</b>	<b>C14</b>	<b>El Gato</b>	<b>Puerto Molca</b>	<b>Santa Rosa</b>	<b>Cameron</b>
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	0.24	1.70	0.36	1.01	1.09	1.11
<b>Parámetro (unidad)</b>	<b>San Jose</b>	<b>Escuela 20</b>	<b>Escuela 31</b>	<b>Muelle Club de Pesca</b>	<b>Plaza</b>	<b>Bomberos Voluntarios</b>
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	0.26	0.18	0.96	2.15	0.47	0.46

Parámetro (unidad)	Estación A	Estación B	Estación C	Estación D	Estación E
Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	17.8	4.8	8.7	0.20	0.15

Del análisis de los indicadores estadísticos puede observarse lo siguiente:

- Los máximos promedios anuales se dan en las Estaciones A, B y C de monitoreo de NASA, con valores de entre 5 y 18 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente.
- Los mínimos promedios anuales se dan en las Estaciones D y E de monitoreo y en la Escuela 20, con valores de entre 0.15 y 0.20 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente. Valores similares se obtienen en el Barrio Atucha y Estación San José.
- En el resto de los puntos de seguimiento del modelo se observan actividades medias anuales de tritio emitido desde CNA I de entre 0.3 y 2.2 Bq/m<sup>3</sup>.
- El máximo valor horario se registró en la Estaciones C, con 2,800 Bq/m<sup>3</sup>, seguido por la Estación A con 1,800 Bq/m<sup>3</sup> y el Club de Pesca con 1,500 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente.

En el barrio Atucha, cuando la actividad es positiva, típicamente se encuentra debajo de 10 Bq/m<sup>3</sup>, con unos pocos valores horarios por sobre 20 Bq/m<sup>3</sup>. En la Plaza ocurre algo similar, aunque hay picos un poco mayores a los observados en el Barrio Atucha.

En la Escuela 20, la actividad es positiva está generalmente debajo de 5 Bq/m<sup>3</sup>, con algunos datos por sobre 10 Bq/m<sup>3</sup>. En cambio, en la Escuela 31 la actividad es mayor, en términos relativos, apareciendo picos de 50 Bq/m<sup>3</sup>, o incluso mayores. En esta escuela, el promedio anual de actividad de tritio atmosférico es 5 veces superior al de la escuela 20.

Con los datos obtenidos en las estaciones de seguimiento del modelo, se realizó un análisis de dosis por respiración. Para ello se ha considerado una tasa de respiración diferencial entre adultos, de 8,00 m<sup>3</sup>/año, y niños, de 2,600 m<sup>3</sup>/año.

La tabla siguiente muestra la actividad anual inhalada, bajo la hipótesis de que cada persona permanece en el sitio durante todo el año. Como esto no es realmente así, la tabla puede considerarse como una cota superior, tanto para niños como para adultos (con la excepción del personal que trabaja en CNA I y vive en Barrio Atucha).

En el Barrio Atucha, este indicador asciende a casi 2,000 Bq/año para adultos, y 600 Bq/año para niños. En la Escuela 20 resulta un valor similar para niños, de 500 Bq/año, mientras que en la Escuela 31 este número asciende a 2,500 Bq/año.

*Tabla 5.3.2 Actividad anual inhalada de tritio, para estaciones de seguimiento. Los valores se expresan en miles de Bq/año.*

Estación de seguimiento	Actividad anual inhalada (10 <sup>3</sup> Bq/año)	
	Adultos	Niños
Barrio Atucha	1.9	0.6
C14	13.6	4.4
El Gato	2.9	0.9
Puerto Molca	8.1	2.6
Santa Rosa	8.7	2.8
Cameron	8.9	2.9
Estacion A	142.1	46.2
Estacion C	69.6	22.6
San Jose	2.1	0.7
Escuela 20	1.5	0.5
Escuela 31	7.7	2.5
Estacion B	38.6	12.6
Estacion D	1.6	0.5
Estacion E	1.2	0.4
Muelle Club de Pesca	17.2	5.6
Plaza	3.8	1.2
Bomberos Voluntarios	3.7	1.2

Finalmente, se tradujeron los valores anteriores en términos relativos, para determinar la actividad anual inhalada en relación al nivel de referencia (NR). El NR se ha calculado para una dosis anual de 0.05 mSv, resultando de 347 Bq/m<sup>3</sup> para adultos y 401 Bq/m<sup>3</sup> para niños.

La tabla siguiente presenta este análisis:

*Tabla 5.3.3 Actividad relativa anual inhalada de tritio, para estaciones de seguimiento, en relación al Nivel de Referencia.*

Estación de seguimiento	Actividad anual inhalada / NR	
	Adultos	Niños
Barrio Atucha	0.07%	0.06%
C14	0.49%	0.42%
El Gato	0.10%	0.09%
Puerto Molca	0.29%	0.25%
Santa Rosa	0.31%	0.27%
Cameron	0.32%	0.28%
Estacion A	<b>5.12%</b>	<b>4.43%</b>
Estacion C	<b>2.51%</b>	<b>2.17%</b>
San Jose	0.07%	0.06%
Escuela 20	0.05%	0.05%
Escuela 31	0.28%	0.24%
Estacion B	<b>1.39%</b>	<b>1.20%</b>
Estacion D	0.06%	0.05%
Estacion E	0.04%	0.04%
Muelle Club de Pesca	0.62%	0.54%
Plaza	0.14%	0.12%
Bomberos Voluntarios	0.13%	0.11%

Estos resultados ponen de manifiesto lo siguiente:

- En las Estaciones de monitoreo A, B y C de NASA se observan las mayores actividades anuales inhaladas relativas, con valores de entre 1.4% y 5.1% para adultos.
- En las demás estaciones, las actividades anuales inhaladas relativas están por debajo del 1%.
- En zonas transitadas por adultos, como el Barrio Atucha, el Muelle del Club de Pesca y Bomberos Voluntarios, las actividades anuales inhaladas relativas para adultos están en el rango entre 0.1% y 0.6%, aproximadamente.
- En zonas para niños, como las Escuelas 20 y 31 y la Plaza, las actividades anuales inhaladas relativas para niños están en el rango entre 0.05% y 0.25%, aproximadamente.

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

En esta primera investigación, se simuló el impacto de la descarga gaseosa de la chimenea de ventilación del edificio auxiliar y domo del reactor de CNA I. En función de los datos disponibles, se ha decidido modelizar el transporte de tritio, como principal elemento erogado.

Se contrastaron los resultados del modelo con los resultados de los monitoreos en las estaciones, observándose un acuerdo muy aceptable entre ambos, lo cual da soporte a las capacidades predictivas del modelo.

Se hace mención a que en este estudio fue necesario adaptar y completar la base de datos disponible, por lo cual se deja constancia que pueden realizarse mejoras a futuro.

Los resultados obtenidos se sintetizan a continuación. Se hace notar que todos los resultados presentados a continuación dan cuenta únicamente del impacto de las emisiones de la chimenea de CNA I como única fuente simulada, y del tritio como único parámetro transportado (siendo el más significativo).

#### **6.1.1 Distribución espacial de la actividad de tritio**

De la distribución espacial de la actividad promedio anual de tritio definida por el modelo se puede concluir que:

- Se observa que hacia las direcciones W y WSW aparecen los impactos de mayor alcance, debido a que los vientos han predominado claramente de los sectores E y ENE en este período. En la zona de impacto se observan actividades promedio anuales de entre 3 y 10 Bq/m<sup>3</sup> a más de 5 km de CNA I.

- En las demás direcciones esta influencia es menor, con valores que caen por debajo de 3 Bq/m<sup>3</sup> a distancias de entre 3 y 8 km, dependiendo de la dirección.
- Actividades por sobre 10 Bq/m<sup>3</sup> aparecen dentro de un radio del orden de 2 km desde la chimenea de CNA I, a excepción de las direcciones W-WSW, donde se alcanza este rango hasta los 5 km aproximadamente.
- Las actividades promedio anuales mayores se dan en el entorno mismo de CNA I. A 1,500 m del reactor se han superado los 20 Bq/m<sup>3</sup> en promedio, alcanzando el sector rural adyacente (aunque se trata de una zona despoblada).
- Dentro del predio de CNA I y en el entorno del reactor, se superan los 30 Bq/m<sup>3</sup> como promedio anual.

En cuanto a los máximos valores horarios se observó que:

- Para este período, con viento del SW se han desarrollado máximos horarios que alcanzan los 2,000 Bq/m<sup>3</sup> hasta a 10 km de distancia del reactor. En las demás direcciones esto no ocurre a más de 5 km. Se aprecia en el campo de distribución espacial de máximos que los mismos ocurren concentrados en el entorno cercano de la central nuclear.
- En la escala de la central nuclear, se observan máximos horarios por sobre 10,000 Bq/m<sup>3</sup> que ocurren en el predio de las centrales y en el río Paraná, frente a CNA I.
- Entre el domo del reactor de CNA I y la costa del río, existe una zona del predio donde

### **6.1.2 Evolución de la actividad de tritio en estaciones de seguimiento**

Se concluyó para los puntos fijos de interés lo siguiente:

- Los máximos promedios anuales se dan en las Estaciones A, B y C de monitoreo de NASA, con valores de entre 5 y 18 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente.
- Los mínimos promedios anuales se dan en las Estaciones D y E de monitoreo y en la Escuela 20, con valores de entre 0.15 y 0.20 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente. Valores similares se obtienen en el Barrio Atucha y Estación San José.
- En el resto de los puntos de seguimiento del modelo se observan actividades medias anuales de tritio emitido desde CNA I de entre 0.3 y 2.2 Bq/m<sup>3</sup>.
- El máximo valor horario se registró en la Estaciones C, con 2,800 Bq/m<sup>3</sup>, seguido por la Estación A con 1,800 Bq/m<sup>3</sup> y el Club de Pesca con 1,500 Bq/m<sup>3</sup>, aproximadamente.
- En el barrio Atucha, cuando la actividad es positiva, típicamente se encuentra debajo de 10 Bq/m<sup>3</sup>, con unos pocos valores horarios por sobre 20 Bq/m<sup>3</sup>. En la Plaza ocurre algo similar, aunque hay picos un poco mayores a los observados en el Barrio Atucha.
- En la Escuela 20, la actividad es positiva está generalmente debajo de 5 Bq/m<sup>3</sup>, con algunos datos por sobre 10 Bq/m<sup>3</sup>. En cambio, en la Escuela 31 la actividad

es mayor, en términos relativos, apareciendo picos de 50 Bq/m<sup>3</sup>, o incluso mayores. En esta escuela, el promedio anual de actividad de tritio atmosférico es 5 veces superior al de la escuela 20.

### **6.1.3 Actividad anual inhalada de tritio**

Se evaluaron los resultados obtenidos con el modelo en términos relativos, para determinar la actividad anual inhalada en relación al nivel de referencia (NR). El NR se ha calculado para una dosis anual de 0.05 mSv (NR=347 Bq/m<sup>3</sup> para adultos y NR=401 Bq/m<sup>3</sup> para niños). Se concluye que:

- En las Estaciones de monitoreo A, B y C de NASA se observan las mayores actividades anuales inhaladas relativas, con valores de entre 1.4% y 5.1% para adultos.
- En las demás estaciones, las actividades anuales inhaladas relativas están por debajo del 1%.
- En zonas transitadas por adultos, como el Barrio Atucha, el Muelle del Club de Pesca y Bomberos Voluntarios, las actividades anuales inhaladas relativas para adultos están en el rango entre 0.1% y 0.6%, aproximadamente.
- En zonas para niños, como las Escuelas 20 y 31 y la Plaza, las actividades anuales inhaladas relativas para niños están en el rango entre 0.05% y 0.25%, aproximadamente.

Se concluye que las actividades anuales por inhalación de tritio emitido desde la chimenea de CNA I y recibidas por el público están por debajo del 1% del Nivel de Referencia adoptado para una dosis anual de 0.05 mSv.

Estos resultados se refieren únicamente a las emisiones de tritio desde la chimenea de CNA I, aunque se observó que en términos de actividad son las más significativas.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda lo siguiente:

- Revisar las estaciones meteorológicas en búsqueda de fallos de sensores o errores de almacenamiento de datos, que luego son irrecuperables.
- Evaluar la posibilidad de registrar la radiación solar incidente en la estación meteorológica de superficie de CNA I.
- Para una segunda etapa de modelado de emisiones, evaluar la posibilidad de incluir otros radio nucleidos, para lo cual se deberá contar con su tasas de emisión horaria en compuestos discriminados.
- Luego del primer año de operación de CNA II, proceder a la simulación conjunta de las emisiones de ambas centrales, mínimamente con las emisiones de tritio. Determinar radios de influencia y dosis recibidas por el público, en rangos adultos y niños.

- Para mejorar las predicciones del modelo, se podrá plantear una etapa de monitoreo de parámetros para realizar una validación pormenorizada. EL mejoramiento en la operatividad de las Estaciones de monitoreo de NASA contribuirá a estos efectos.
- Se deberá evaluar la conveniencia y/o necesidad de incorporar nuevas estaciones de seguimiento a partir de la operación de CNA II.
- Si bien no se tiene presente el detalle del análisis de tritio en muestras líquidas realizado en cada laboratorio, se debe considerar que la atenuación del agua podría producir una subestimación del resultado obtenido, dependiendo de cómo se interprete el mismo (Tarela et al., 1994). Evaluar este fenómeno.

## 7. REFERENCIAS

Cossairt, D., Background levels of tritium, Environmental Protection note 28, Fermilab (2012)

Tarela, P. A., Mariscotti, M. A. J. and Perone, E. A., Method for Measuring Low Activity Extensive Samples, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research - Section B (Beam Interactions with Materials and Atoms), B 94 pp. 511-515, Elsevier Science B.V., Amsterdam (1994).

Tarela, P. A. and Perone, E. A., SofIA: A Cost-Effective Computational System for Linking Air Pollutant Emissions and Population Exposure, Applications of Computational Mechanics in Structures and Fluids, Ed. by S.R. Idelsohn and V.E.Sonzogni, CIMNE, A Serie of Handbooks on Theory and Engineering Applications of Computational Methods. ISBN 84-95999-85-4. Barcelona (2005).

P. Tarela and E. Perone, Assessment of Urban Population Exposure to Air Pollutants:SofIA model, Journal of Computational Methods in Science and Engineering (accepted, 2004).

The Integrated Environmental Strategies Handbook, A Resource Guide for Air Quality Planning, US Environmental Protection Agency EPA 430-B-04-006 (2004)

Tarela, P.A., Modelo en tiempo inverso y régimen dinámico para evaluar emisiones a partir de monitoreo de inmisión, Reunión Anual PROIMCA 2007, 30-31 octubre, San Nicolás (2007)

Tarela, P.A. y Perone, E.A., Evaluación de Impactos de Emisiones Gaseosas Difusas Mediante Modelado Matemático, MECOM 2005, Buenos Aires (2005).

PUGLIESE M. I., POLETTI S., 2011. Programa del Estudio Base Ambiental Radiológico del Área de la Central Nuclear Atucha II. Informe de Trabajo N° 08/11, Lima, 14 p.

ACUTAIN M., POLETTI S., SANDA A., 2010. Niveles Referenciales Ambientales. Nucleoeléctrica Argentina S.A., Buenos Aires, 8 p.

MC COLL N. P., PROSSER S. L., 2002. Emergency Data Handbook. National Radiological Protection Board, Chilton-Didcot-Oxon, 75 p.