

# Impacto térmico y químico de la instalación de un reactor experimental avanzado en la cuenca Matanza-Riachuelo

*María Cecilia Conti, Paula Sánchez Proaño, Mauricio Chocrón*

Gerencia de Química. Comisión Nacional de Energía Atómica

E-mail: mconti@cnea.gov.ar

**RESUMEN:** El Proyecto RA-10, actualmente en curso dentro de la Comisión Nacional de Energía Atómica, comprende el diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor nuclear argentino de investigación multipropósito. El reactor RA-10 estará ubicado en el Centro Atómico Ezeiza y garantiza su utilización simultánea en una amplia gama de aplicaciones: producción de radioisótopos, irradiación de materiales y combustibles, haces de neutrones y producción de silicio. En el presente trabajo se evalúa la incidencia de las descargas líquidas, provenientes de los sistemas de procesos auxiliares del reactor RA-10, en distintos cursos de agua naturales cercanos al sitio de localización del reactor. La hidrología superficial del Centro Atómico se caracteriza principalmente por los siguientes arroyos y afluentes: arroyo El Palo, arroyo Aguirre, afluente del arroyo El Palo y afluente del arroyo Aguirre. El alcance del trabajo corresponde al estudio de impacto químico de los cationes Ca, Na, Mg y K, los cuales se encuentran presentes en forma mayoritaria en las descargas líquidas, y del impacto térmico debido a que la temperatura del vuelco es de aproximadamente 28°C. La evaluación se llevó a cabo en el sitio puntual de descarga mediante cálculos basados en balances de masa macroscópicos en sistemas multicomponentes y considerando la distribución de la pluma química y térmica a lo largo del curso de agua utilizando el código de cálculo WASP. Los resultados del presente estudio muestran que la descarga líquida del RA-10 no produciría impacto químico ni de temperatura en el Arroyo Aguirre en su salida del predio del Centro Atómico Ezeiza.

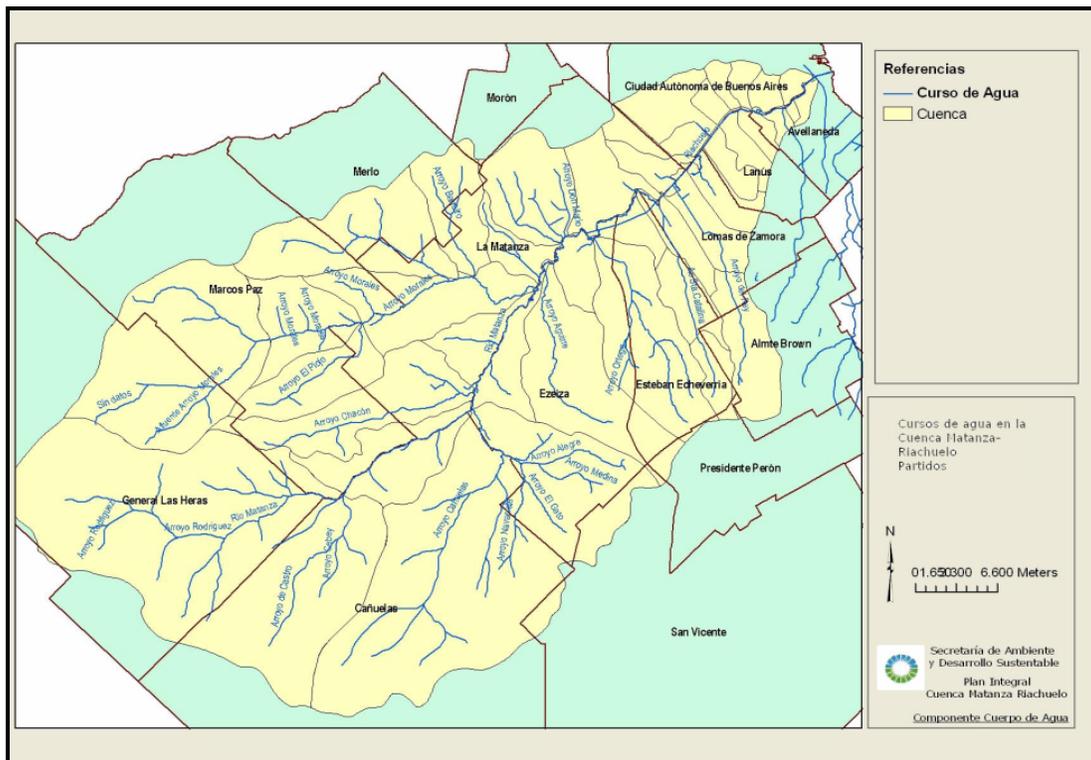
## INTRODUCCION

El reactor RA-10 consiste en un reactor nuclear de investigación y producción multipropósito, de flujo neutrónico suficientemente alto como para garantizar su utilización simultánea en una amplia gama de aplicaciones: producción de radioisótopos, irradiación de materiales y combustibles, haces de neutrones y producción de silicio (IT-40/RA-10/0000-1-002-0 r0, 2011). El abastecimiento de consumos e inventarios de agua del reactor y sus sistemas auxiliares se realizará mediante la toma de agua de pozo proveniente del acuífero Puelche y su posterior tratamiento según las características químicas del agua requeridas en cada proceso. Las descargas líquidas del reactor provienen, principalmente, del sistema de refrigeración del mismo y la planta de tratamiento de aguas.

Este reactor estará ubicado en el Centro Atómico Ezeiza; cuyo predio comprende aproximadamente 831 hectáreas, está limitado al noroeste por el río Matanza y forma parte de la Cuenca Matanza Riachuelo. La Cuenca Matanza Riachuelo es considerada como el sistema hídrico de mayor relevancia regional en el área metropolitana de Buenos Aires, ocupando una superficie de 2.240 km<sup>2</sup>, con un ancho medio de 35 km y

recorriendo unos 70 km antes de desaguar en el Río de la Plata. En ella, pueden distinguirse tres zonas de características esencialmente diferentes: una zona altamente urbanizada (tramo inferior), otra periurbana o urbana en vías de expansión donde se encuentra emplazado el Centro Atómico Ezeiza (tramo medio) y un área rural (tramo superior) (Secretaría de Ambiente y Desarrollo sustentable de la Nación, 2009). La cuenca se caracteriza por presentar una unidad acuífera superior (Pampeano o Epipelche) y una inferior (Puelche) interrelacionadas.

El Río Matanza recibe en su recorrido el aporte de unos 18 afluentes (Figura 1). Los principales son: por la margen izquierda, los arroyos Chacón, Morales y Cildañez. Por la margen derecha; arroyos Cañuelas, las Ortigas, Santa Catalina, del Rey, Unamuno y Aguirre, éste último atraviesa el Centro Atómico.



**Figura 1.-** Cuenca Matanza Riahuelo

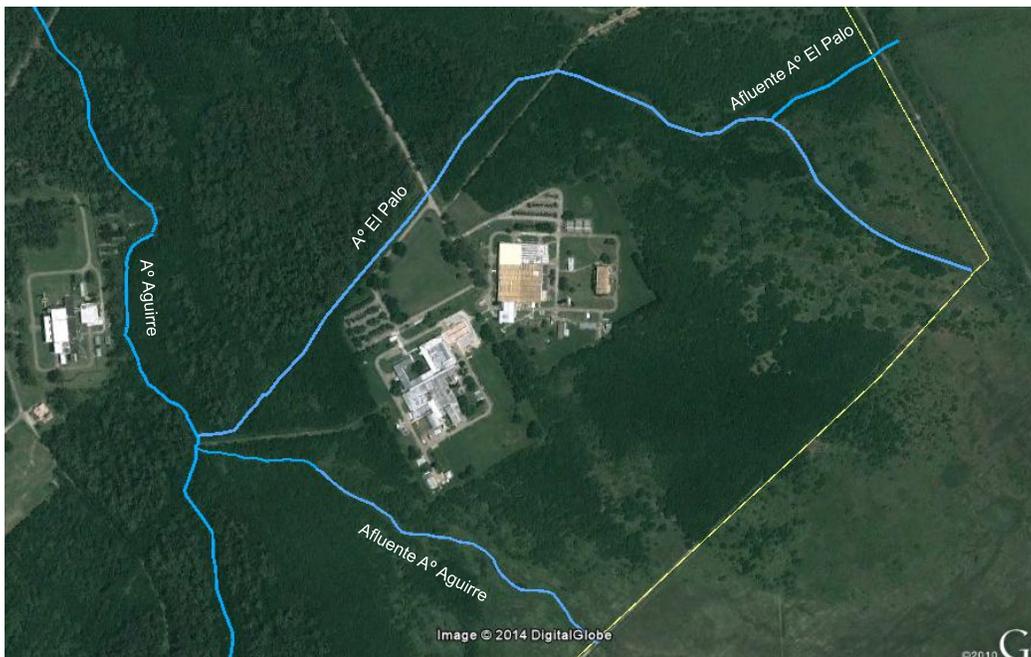
La hidrología superficial del Centro Atómico Ezeiza se caracteriza, principalmente, por los arroyos Aguirre y El Palo y los afluentes de los mismos, siendo el afluente a El Palo de caudal intermitente (Figura 2).

El arroyo Aguirre, afluente del Río Matanza, forma la subcuenca a la cual pertenece gran parte del predio considerado. Penetra al predio por el límite sudoeste y lo atraviesa en diagonal hasta el límite noroeste del mismo. Es un río permanente, de llanura, con baja pendiente y escaso poder erosivo, con caudal fuertemente ligado a las precipitaciones y que alcanza su nivel de estiaje normal, días después de la ocurrencia de las mismas.

El arroyo El Palo penetra al predio por el borde sureste en dirección noroeste y a los 1.000 m de recorrido se orienta hacia el arroyo Aguirre en el cual se vierte. Tanto el arroyo Aguirre como El Palo, están relacionados con bajos inundables aunque más fuertemente el segundo.

En cuanto al drenaje superficial del predio deben efectuarse, además, las siguientes consideraciones:

- En los límites sur, sureste y oeste del predio penetran las aguas provenientes de áreas vecinas.
- En las áreas de localización de infraestructura, el escurrimiento es radial y la disipación superficial del agua precipitada es rápida.
- En sectores importantes del predio, la disipación del agua precipitada se ve condicionada por la presencia de horizontes edáficos de baja permeabilidad (hacia el norte del predio), la presencia de amplios sectores forestados o invadidos con vegetación de aparición natural y por el terraplén del ferrocarril.
- El 90% del drenaje superficial escurre al arroyo Aguirre, siendo el mismo el receptor directo tanto del desagüe pluvial como cloacal.



**Figura 2.-** Hidrología superficial del predio del Centro Atómico Ezeiza

En el presente trabajo se evalúa el impacto químico y térmico de las descargas líquidas provenientes de los sistemas de procesos auxiliares del reactor RA-10, en distintos puntos de vuelco ubicados sobre el arroyo Aguirre y el arroyo El Palo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Caracterización de las descargas líquidas del reactor*

Las descargas líquidas de procesos, durante la operación normal del reactor, se originarán en los siguientes sistemas auxiliares (IN-GQ\_AT-032, 2014):

- Planta de Tratamiento de Agua (Sistema 5380), tiene como función principal la purificación química del agua proveniente de la toma del acuífero para abastecimiento a sistemas del reactor. La planta producirá 72 m<sup>3</sup>/h de agua de calidad industrial. Como corriente rechazo del sistema, se presentan 42 m<sup>3</sup>/h provenientes de los equipos de Osmosis Inversa (OI).

- Planta de Provisión de Agua Desmineralizada (Sistema 5320), tiene como función purificar el agua proveniente del Sistema 5380 hasta lograr las especificaciones químicas de un agua ultra pura para distribución a los sistemas de procesos que así lo requieran. La planta procesará 2 m<sup>3</sup>/h y se originarán 0,67 m<sup>3</sup>/h de los rechazos de los equipos OI.

- Sistema de Refrigeración Secundario (Sistema 2100), este sistema tiene como función principal liberar al ambiente una carga térmica de 36 MW mediante un sistema de enfriamiento por torre. De este sistema se originarán 10 m<sup>3</sup>/h como descarga líquida (purga de torres).

Por lo tanto, se estima que el caudal total de vertido por los sistemas de proceso auxiliares del reactor hacia el cuerpo de agua receptor será de 52,67 m<sup>3</sup>/h, como se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1.-** Descargas líquidas de sistemas auxiliares del reactor

| <b>Sistema</b> | <b>Caudales [m<sup>3</sup>/h]</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| Sistema 5380   | 42                                |
| Sistema 5320   | 0,67                              |
| Sistema 2100   | 10                                |
| <b>TOTAL</b>   | <b>52,67</b>                      |

La composición química del vertido final depende fuertemente de la calidad del agua requerida para reposición de la torre de enfriamiento (Sistema 2100) y de los sistemas de procesos; y de las características químicas del agua cruda a tratar (agua de pozo). Dado que los sistemas de procesos consumen agua de muy alta pureza, a los efectos de minimizar los fenómenos de corrosión y fenómenos asociados a la concentración de impurezas en equipos y cañerías, la calidad química de agua de pozo será un factor importante en la composición de la descarga líquida. Si bien no se encuentra definida la ubicación del pozo del cual se abastecerá al reactor; para la estimación de los parámetros químicos del agua subterránea se tomaron los datos obtenidos del pozo piezométrico ubicado en el predio de la empresa CONUAR (localizada dentro del Centro Atómico Ezeiza), ubicado a aproximadamente 800 m del lugar donde se emplazará el reactor. Estos datos corresponden a tres mediciones realizadas en el año 2010 durante la estación primavera, en monitoreos periódicos de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Se calculó la mediana como valor representativo de dichas mediciones. Del análisis de los mismos se desprende que los cationes que se encuentran en forma

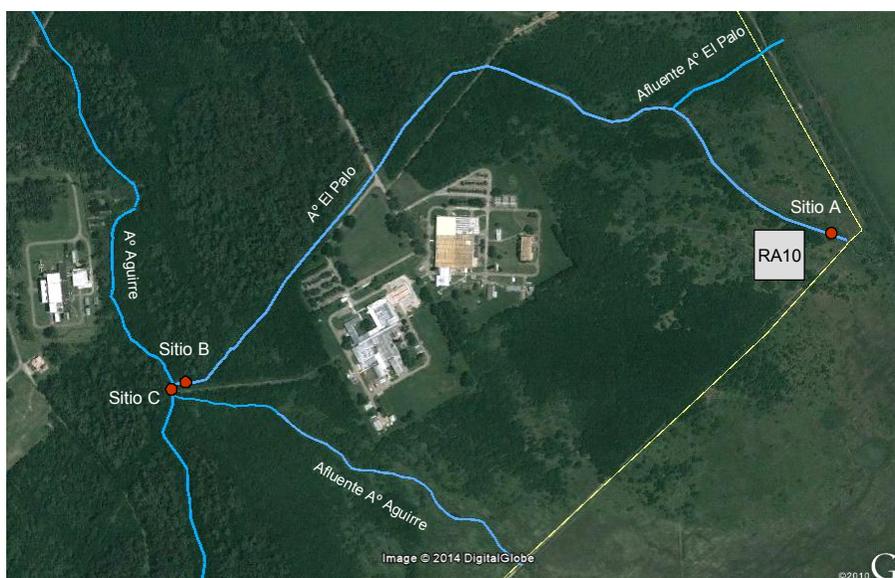
mayoritaria son Ca, Mg, K y Na. En la Tabla 2 se presenta la composición química de cada sistema y de la descarga final.

**Tabla 2.-** Especificación química y caudal de rechazos y vertido final para descarga al ambiente

| Cación    | Sistema 5380 | Sistema 5320 | Sistema 2100 | Total         |
|-----------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Ca [mg/L] | 38,91        | 2,99         | 7,35         | <b>32,46</b>  |
| Mg [mg/L] | 23,35        | 1,79         | 4,41         | <b>19,48</b>  |
| Na [mg/L] | 626,25       | 54,94        | 136,08       | <b>525,91</b> |
| K [mg/L]  | 25,77        | 2,26         | 5,60         | <b>21,64</b>  |

### *Selección de los sitios de descarga*

Para la selección de estos sitios se consideró, en primer lugar, un punto de descarga cercano a la ubicación del RA10 (Sitio A), en segundo lugar, un punto cercano a la confluencia del arroyo El Palo con el arroyo Aguirre, para garantizar una rápida mezcla del vertido (Sitio B); y finalmente, se analizó un sitio de vuelco sobre el arroyo Aguirre, que es el cuerpo de agua con mayor caudal, y por lo tanto, el que menos sería afectado por la descarga (Sitio C). La ubicación de estos puntos se presenta en la Figura 3.



**Figura 3.-** Ubicación de los puntos seleccionados para las descargas líquidas

Los caudales de los arroyos El Palo, Aguirre y afluentes, utilizados en este trabajo se presentan en la Tabla 3. El caudal del arroyo Aguirre corresponde a la mediana de las mediciones realizadas por el ACUMAR, durante la época de primavera, en el período 2011-2012 (Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, 2013). Los caudales en el arroyo El Palo y en los afluentes fueron determinados a partir de la relación de caudales

que existe entre dichos arroyos y el Aguirre (Laboratorio de Hidrología, FI – UNLP); y de un relevamiento preliminar realizado en el sitio.

**Tabla 3.-** Caudales de arroyos y afluentes

| Arroyo              | Q [m <sup>3</sup> /s] |
|---------------------|-----------------------|
| Afluente A° Aguirre | 0,017                 |
| Afluente A° El Palo | 0                     |
| Arroyo El Palo      | 0,023                 |
| Arroyo Aguirre      | 0,091                 |

### *Análisis de impacto químico y térmico*

El estudio de impacto químico (Ca, K, Mg y Na) y térmico consistió en analizar la influencia de la descarga líquida total (52,67 m<sup>3</sup>/h) en los tres puntos de vuelco seleccionados mediante dos metodologías de análisis: un análisis local de impacto en sitio de vuelco (Metodología A) y un análisis del transporte de la descarga a lo largo del curso de agua (Metodología B).

El estudio se realizó para la estación del año primavera, ya que se consideró que los caudales y las temperaturas de esta estación corresponden a valores promedios de los datos recolectados a lo largo del año.

#### 1) Metodología A

El cálculo de concentración final de los parámetros químicos en estudio (Ca, Mg, Na y K) en el sitio de vuelco luego de la descarga, se basó en considerar mezclado perfecto sin reacción química y en estado estacionario. La expresión para su cálculo se ajusta a los balances de masa macroscópicos en sistemas multicomponentes (ley de conservación de masa) y se presenta en la ecuación 1.

$$[C] = \frac{\sum_i W_i * [C_i]}{\sum_i W_i} \quad (1)$$

Donde,  $W_i$  es el caudal de la corriente “i”,  $[C_i]$  es la concentración de la corriente “i” y  $[C]$  es la concentración final de la mezcla.

Para el cálculo de la temperatura final en el sitio de vuelco luego de la descarga, se consideró mezclado perfecto con pérdidas por evaporación y en estado estacionario. Para la pérdida por evaporación se consideró una superficie libre de agua expuesta a un ambiente con aire quieto, T=24°C y 50 %HR; en estas condiciones, el calor entregado al ambiente por evaporación es de 112 kcal/hm<sup>2</sup> (Carrier Air Conditioning Company, 1980).

## 2) Metodología B

La aplicación de un modelo de transporte de Na, Mg, K, Ca y temperatura a través de cuerpos de agua superficiales, requirió que previamente se defina un Modelo Conceptual del sistema en estudio.

El alcance del modelo se definió sobre: el arroyo el Palo desde su ingreso al predio del Centro Atómico Ezeiza hasta su unión al arroyo Aguirre; el arroyo Aguirre desde 130 m aguas arriba de su intersección con el arroyo el Palo hasta 1100 m aguas abajo después de dicha intersección; los afluentes a ambos arroyos y la descarga del RA10. Se consideró un modelo de una dimensión (la del flujo de agua) asumiendo homogeneidad vertical y lateral. Dadas las características del cuerpo de agua (río de llanura con una leve pendiente) se supuso que el transporte se produce solamente por el proceso de advección.

La ecuación matemática que describe el Modelo Conceptual se basa en el balance de masa. Así, la concentración de cualquier sustancia en un punto del sistema cumple la ecuación fundamental de conservación de la masa. Ésta, es una ecuación diferencial que representa la variación temporal de la concentración de un soluto en un volumen de control infinitesimal (Ecuación 2).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{\partial UC}{\partial x} \quad (2)$$

Donde, C es la concentración del soluto en mg.L<sup>-1</sup> y U es la velocidad advectiva en la dirección del flujo de agua expresada en m.s<sup>-1</sup>.

La resolución de las ecuaciones de transporte se realizó utilizando el programa de cálculo WASP, desarrollado por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos. La aplicación de este programa requiere que el sistema sea dividido en celdas, en las cuales se plantea la conservación de la masa y se resuelve la Ecuación 2 (Wool et al., 2005). En la Figura 4 se presenta un esquema del sistema en estudio, dividido en 11 celdas con los ingresos y egresos de agua considerados.

Para el transporte de la pluma de temperatura, se tuvo también en cuenta el intercambio de calor a través de la interfase agua – aire por los proceso de conducción y radiación. Se consideró una temperatura ambiente de 22°C, teniendo en cuenta la temperatura promedio reportada por la Estación Meteorológica Ezeiza en el período 2009-2012, para la estación primavera.

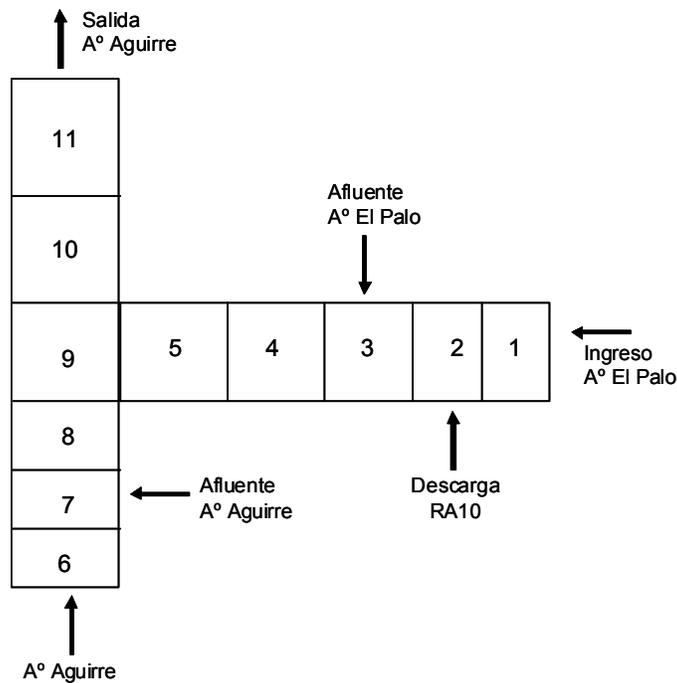


Figura 4.- Esquema del sistema a estudiar

## RESULTADOS

### *Impacto en el sitio de vuelco*

Los resultados de las concentraciones de Ca, Mg, Na y K en los sitios de vuelco, luego de la descarga, obtenidos por las Metodologías A y B, se presentan en la Tabla 4. La comparación de los mismos muestra que en el Sitio A, no hay diferencias significativas entre ambas metodologías. Por otra parte, en los Sitios B y C, la diferencia se debe al que en un caso (Metodología A) el cálculo se realiza teniendo en cuenta, solamente, la concentración en el punto del vuelco, a diferencia de la Metodología B, que considera la concentración del curso de agua desde su entrada al sistema, como así también las concentraciones de los afluentes.

La comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con la mediana de mediciones experimentales realizadas durante la época de primavera en el período 2010- 2012 (IN-SNA\_GA-MA-03, 2013), muestra que en los sitios A y B el impacto local es menor en el caso del Ca, entre el 11% y 18% de aumento en su concentración, y es muy importante en el Na que sufre variaciones mayores al 60%. Por otro lado, si las descargas se realizan en el sitio C, el impacto se reduce notablemente, siendo la mayor variación el incremento del 12% en la concentración de Na.

**Tabla4.-** Comparación de los resultados obtenidos con las Metodologías A y B

| <b>Metodología</b>   | <b>Catión</b> | <b>Sitio A</b> | <b>Sitio B</b> | <b>Sitio C</b> |
|----------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Metodología A</b> | Ca [mg/L]     | 25,84          | 28,04          | 33,49          |
|                      | Mg [mg/L]     | 13,34          | 14,26          | 14,93          |
|                      | Na [mg/L]     | 319,24         | 321,78         | 311,91         |
|                      | K [mg/L]      | 14,78          | 14,74          | 14,97          |
| <b>Metodología B</b> | Ca [mg/L]     | 26,0           | 26,0           | 34,1           |
|                      | Mg [mg/L]     | 13,5           | 13,5           | 16,4           |
|                      | Na [mg/L]     | 323,5          | 323,5          | 324,2          |
|                      | K [mg/L]      | 14,9           | 14,9           | 16,0           |
| <b>Experimental</b>  | Ca [mg/L]     | 21,85          | 25,22          | 33,65          |
|                      | Mg [mg/L]     | 9,65           | 10,93          | 14,20          |
|                      | Na [mg/L]     | 195,00         | 191,64         | 277,71         |
|                      | K [mg/L]      | 10,65          | 10,34          | 13,91          |

Los resultados de la temperatura final en los sitios de vuelco, obtenidos por las Metodologías A y B y experimentalmente se presentan en la Tabla 5. Al igual que en el estudio de impacto químico, las dos metodologías concuerdan en el resultado del Sitio A y difieren en los Sitio B y C por las mismas razones anteriormente expuestas. La comparación de estos resultados con los obtenidos experimentalmente (IN-SNA\_GA-MA-03, 2013) muestra que el impacto no supera el 5% de variación de la temperatura cuando el vuelco se realiza en el sitio A. En los sitios B y C las temperaturas de los cuerpos de agua son del mismo orden o mayores que la temperatura de la descarga, con lo cual no habría impacto térmico local.

**Tabla 5.-** Comparación de las temperaturas obtenidas en los sitios de vuelco con la Metodologías A y B

| <b>Sitio</b> | <b>Metodología A<br/>T(°C)</b> | <b>Metodología B<br/>T(°C)</b> | <b>Experimental<br/>T(°C)</b> |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Sitio A      | 25,23                          | 25,4                           | 23,95                         |
| Sitio B      | 26,12                          | 24,7                           | 25,60                         |
| Sitio C      | 27,45                          | 26,3                           | 27,40                         |

### Impacto a lo largo del cuerpo de agua receptor

Los resultados en la primera parte del trabajo muestran que el Na es el catión que mayor impacto produce a nivel local, por esta razón se lo eligió para el análisis de impacto a lo largo de los arroyos El Palo y Aguirre. A continuación se presentan los gráficos de variación de la concentración de Na en función de la distancia, tanto de los valores calculados con la Metodología B, como de los medidos experimentalmente en dichos arroyos (Figuras 5-7), para los tres sitios de vuelco propuestos. En los gráficos se marcan los puntos de ingreso de la descarga del RA10 y del arroyo El Palo para mostrar si los mismos producen un aumento o disminución de las concentraciones de base. El punto inicial (Km 0) en el arroyo El Palo se toma en la celda 1 y en el arroyo Aguirre en la celda 6. En los gráficos se puede observar que el valor experimental de concentración de Na a los 1,2 km del arroyo Aguirre disminuye considerablemente. En este punto, a diferencia de los otros, existe solo una medición experimental, realizada en el año 2012, por lo cual no es posible determinar si esta variación se debe a un hecho puntual no considerado o un error en el proceso de medición. Cabe aclarar que aguas abajo de este punto (zona no considerada en este estudio), la concentración de Na tiene valores concordantes con los tres primeros. Por esta razón, en este análisis se consideró que la concentración de base del cuerpo receptor estaba dada por los tres primeros puntos experimentales.

En todos los casos analizados, independientemente de donde se realizó el vuelco, una vez que el arroyo El Palo y el arroyo Aguirre se encuentran el impacto químico desaparece

- Descarga en el Sitio A

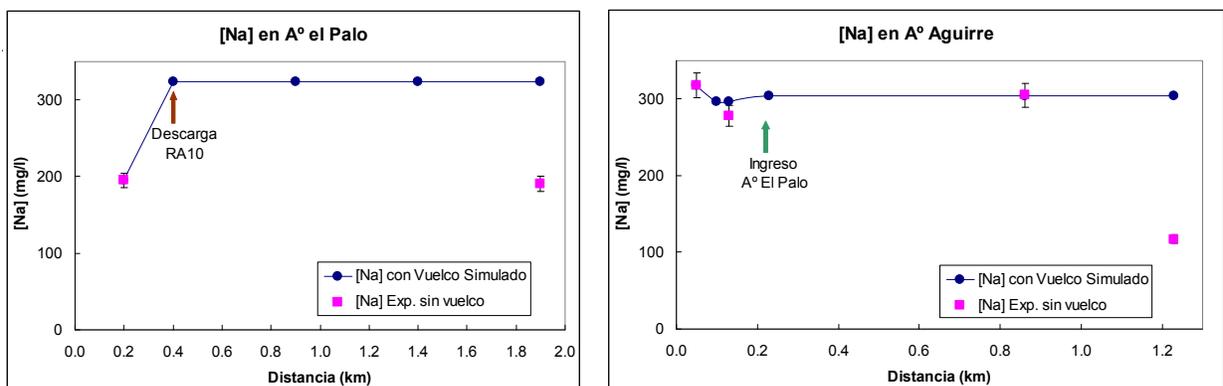


Figura 5.- Concentración de Na en el arroyo El Palo y el arroyo Aguirre

- Descarga en el Sitio B

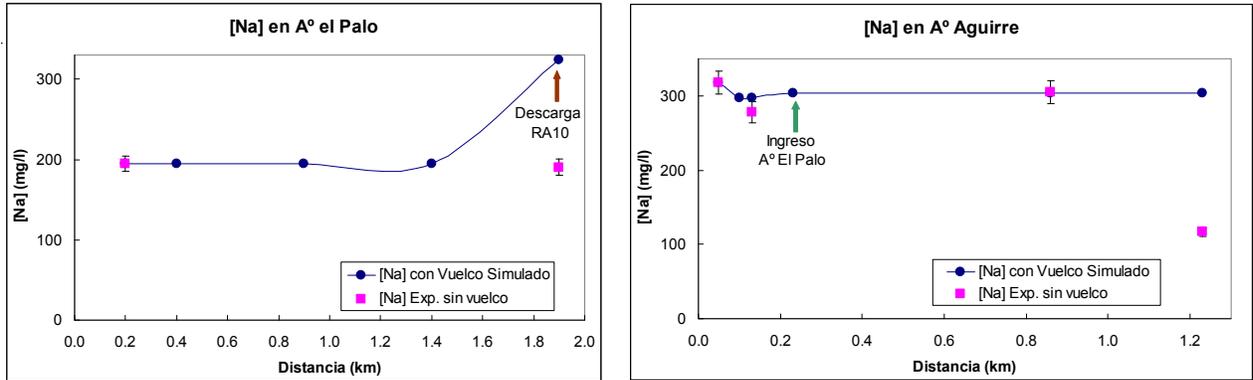


Figura 6.- Concentración de Na en el arroyo El Palo y el arroyo Aguirre

- Descarga en el Sitio C

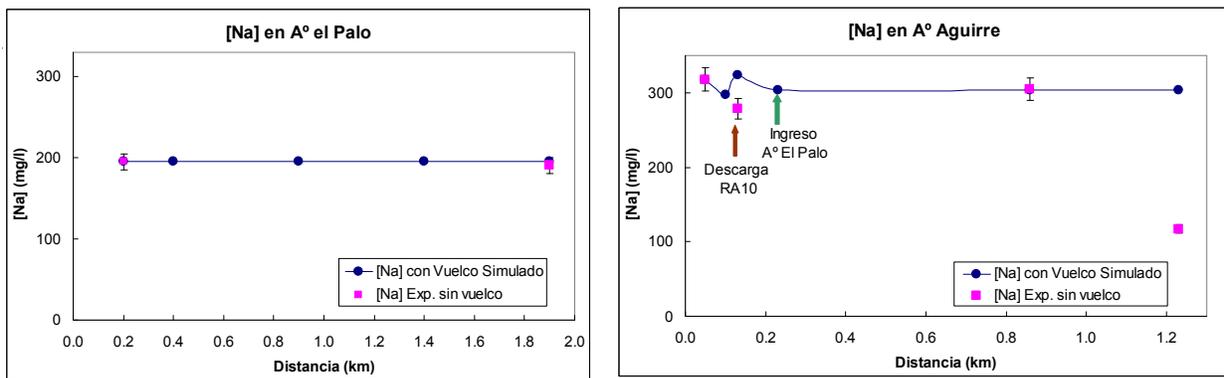


Figura 7.- Concentración de Na en el arroyo El Palo y el arroyo Aguirre

El análisis del impacto térmico en los arroyos El Palo y Aguirre se presenta en las Figuras 7, 8, 9 y 10. Si bien localmente hay un incremento de la temperatura, cuando la descarga se realiza en el sitio A, éste desaparece a lo largo del arroyo El Palo. Por otro lado, en los sitios B y C la temperatura del cuerpo de agua es mayor que la temperatura de la descarga, con lo cual su impacto es nulo.

- Descarga en el Sitio A

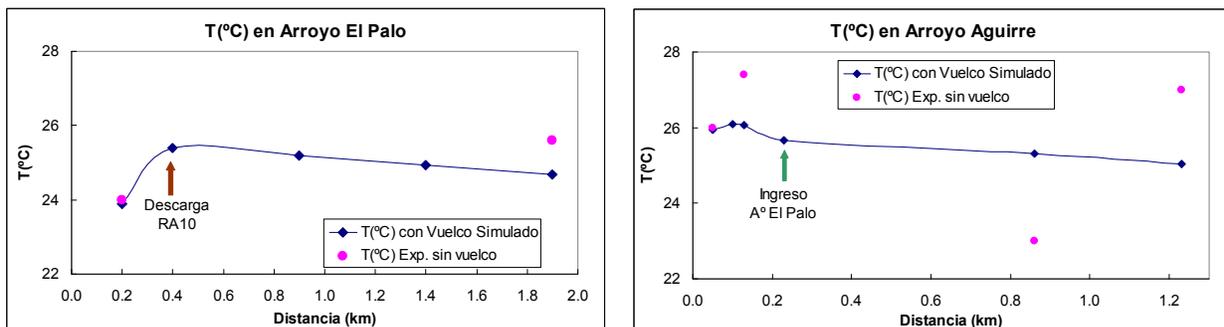


Figura 8.- Temperatura en el arroyo El Palo y el arroyo Aguirre

- Descarga en el Sitio B

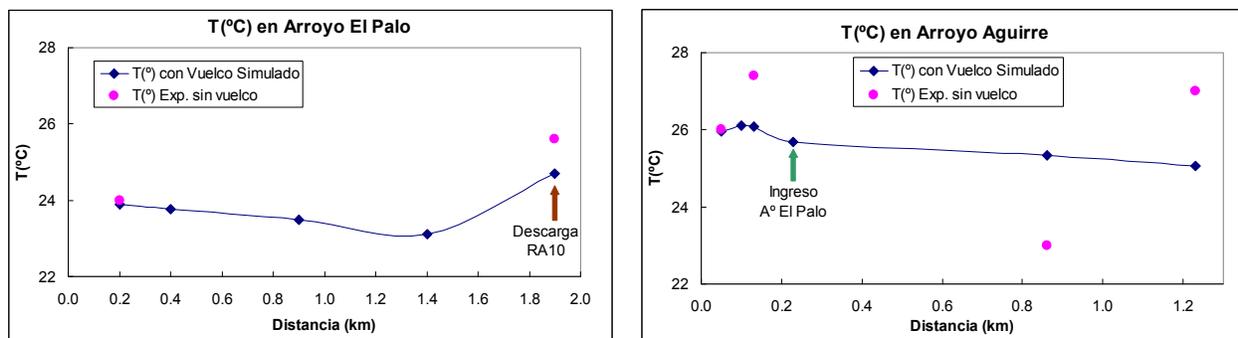


Figura 9.- Temperatura en el arroyo El Palo y el arroyo Aguirre

- Descarga en el Sitio C

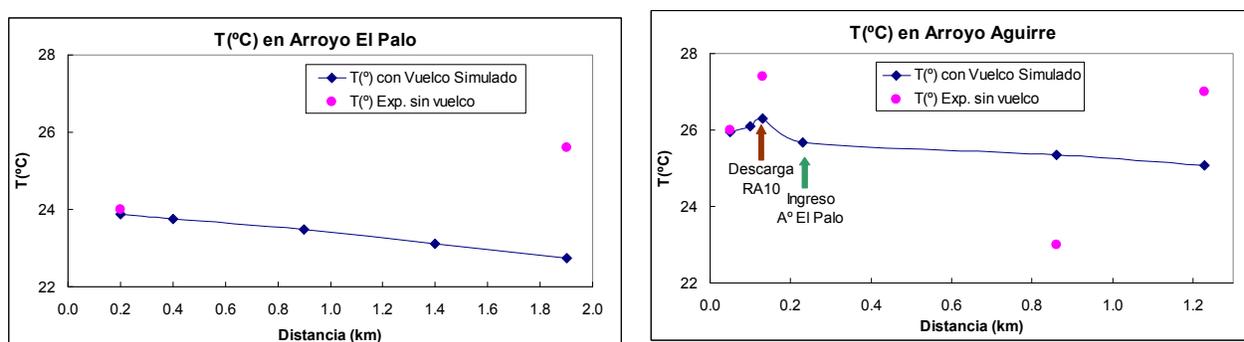


Figura 10.- Temperatura en el arroyo El Palo y el arroyo Aguirre

## CONCLUSIONES

De los tres sitios seleccionados para la descarga, se encontró que el sitio C (sobre el arroyo Aguirre) es el que menos impacto local recibe debido a que es el cuerpo de agua receptor con mayor caudal. Por otro lado, cuando las descargas se hacen sobre el arroyo El Palo (sitios A y B), tanto el impacto químico como el térmico desaparecen luego de la confluencia de este arroyo con el arroyo Aguirre.

Bajo las condiciones consideradas en este trabajo, se puede concluir que la descarga líquida de los sistemas de procesos auxiliares del reactor RA10 no produciría impacto de los cationes estudiados y de temperatura sobre el arroyo Aguirre en su salida del predio del Centro Atómico Ezeiza.

Actualmente se encuentra en curso el estudio de impacto químico de las descargas líquidas del reactor teniendo en cuenta la composición química de la purga de la torre de refrigeración y rechazos de los módulos de osmosis inversa con los aditivos químicos correspondientes.

*Agradecimientos:* a la Lic. Regina Mancuso, Lic. Gabriela Roullier y Lic. Melanie Schreiber de la Comisión Nacional de Energía Atómica por la colaboración prestada en el relevamiento de datos de sitio.

## REFERENCIAS

- Carrier Air Conditioning Company, 1980. Handbook of Air Conditioning System Design, Mc. Graw Hill.
- Laboratorio de Hidrología, FI – UNLP, 2013. Estudio Hidrológico del Sitio Ezeiza, Provincia de Buenos Aires. Informe final.
- IN-GQ\_AT-032, 2014. Relevamiento preliminar para estudio de impacto térmico y químico de descargas líquidas del Reactor RA-10. Principales consumos de agua y rechazos del reactor (MEM-40/RA-10/7180-3-058-0).
- IN-SNA\_GA-MA-03, 2013. Informe de Monitoreo Hidrológico Superficial del Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires.
- IT-40/RA-10/0000-1-002-0 r0, 2011. Descripción General del Reactor RA-10.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo sustentable de la Nación, 2009. Modelación matemática de la CMR para el estudio de alternativas de saneamiento. Noveno informe.
- Wool T., Ambrose R., Martin J., Comer E., 2005. Water Quality Analysis Program (WASP). User's Manual.
- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR), 2013. Cuenca Matanza Riachuelo medición del estado del agua superficial y subterránea. Análisis e interpretación de los resultados. Informe Trimestral de Abril - Junio 2013