

Figura 2. Imágenes satelitales de la zona del Parque Nacional Torres del Paine, donde se observan zonas con lagunas superficiales temporales y/o permanentes.

Tabla 3. Resultados estadísticos descriptivos de niveles de conductividad (S/cm) de especies y taxas de crustáceos zooplanctónicos lacustres reportados para la zona sur de la Patagonia (Cf: De los Ríos *et al.*, 2008b).

| | Promedio | Mínimo | Máximo | N |
|---|----------|-----------|-----------|----|
| <i>Boeckella gracilipes</i> (Daday, 1902) | 3070,1 | 154,0 | 20301,0 | 10 |
| <i>Boeckella meteoris</i> (Kiefer, 1928) | 11887,7 | 5901,0 | 16561,0 | 3 |
| <i>Boeckella. michaelseni</i> (Mrázek, 1901) | 3761,4 | 151,0 | 20301,0 | 7 |
| <i>Boeckella pooensis</i> (Marsh, 1906) | 16560,0 | Sin datos | Sin datos | 1 |
| <i>Boeckella poppei</i> (Mrázek, 1901) | 2835,7 | 151,0 | 20301,0 | 26 |
| <i>Parabotreas sarsi</i> (Mrázek, 1901) | 2972,1 | 154,0 | 16561,0 | 18 |
| Copepoditos ciclopoideos | 2637,3 | 151,0 | 16561,0 | 12 |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller 1785) | 2015,9 | 151,0 | 6140,0 | 9 |
| <i>Daphnia dadayana</i> (Paggi, 1999) | 1295,8 | 151,0 | 6140,0 | 13 |
| <i>Daphnia obtusa</i> (Kurz, 1874) | 1660,2 | 553,0 | 3449,0 | 6 |
| <i>Daphnia pulex</i> (Scourfield, 1877) | 2852,8 | 154,0 | 20301,0 | 15 |
| <i>Neobosmina chilensis</i> (Daday, 1902) | 4499,5 | 151,0 | 20301,0 | 11 |
| <i>Branchinecta</i> spp. | 607,4 | 420,0 | 962,0 | 7 |

Los resultados de los niveles de conductividad en que aparecieron las especies (Tabla 3), tuvieron homogeneidad de varianza ($F = 1,660$; $P > 0,090$), y el análisis de varianza no demostró diferencias significativas ($F = 1,455$; Nivel de confiabilidad 0,05; Grados de libertad: 11, 125; $P > 0,157$). Si bien no hay diferencias significativas, se podría observar la presencia de organismos propios de bajos niveles de conductividad, como *Branchinecta* spp, *Daphnia dadayana*, *D. obtusa*, *Chydorus sphaericus* y *Boeckella gracilipes* (Tabla 2). Por otro lado, se observaron especies muy tolerantes a amplios niveles de conductividad, siendo principalmente copépodos calanoideos como *B.*

brasiliensis, *B. brevicaudata*, *B. gracilipes*, *B. michaelsoni*, *B. poppei*, *Parabroteas sarsi* y cladóceros como *D. pulex* y *Neobosmina chilensis* (Tabla 2).

La presencia de una relativamente alta riqueza de especies de crustáceos observada en el presente estudio, coincide con similares reportes para la Patagonia Argentina e islas Subantárticas (Menu-Marque *et al.*, 2000). Los estudios ecológicos solo están restringidos para la Patagonia chilena, los cuales mostraron que la salinidad tiende a regular la presencia y ausencia de especies de crustáceos zooplanctónicos (De los Ríos *et al.*, 2008b), aunque Soto *et al.*, (1994) proponen, además, un efecto combinado entre la conductividad y las condiciones tróficas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por los proyectos DGI-CDA 2007-01 y la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Católica de Temuco.

BIBLIOGRAFÍA

- DE LOS RÍOS, P.; ADAMOWICZ, S. y WITT, J.D.S. (En prensa) Aquatic fauna on the driest desert on earth: first report on the crustacean fauna of the Loa river (Atacama desert, Antofagasta region, Chile). *Crustaceana*.
- DE LOS RÍOS, P. y ROA, G. (En prensa). Crustacean species assemblages in mountain shallow ponds: Parque Cañi (38°S, Chile). *Zoología-Curitiba*
- DE LOS RÍOS, P.; NORAMBUENA, J. y VEGA, M. 2009. Situación actual del río Loa, amenazas y posibles consecuencias a su agricultura rural. Efecto de los cambios sobre la salud humana y la seguridad alimentaria. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 216-224 p.
- DE LOS RÍOS, P., ACEVEDO, P.; RIVERA, R. y ROA, G. 2008a. Comunidades de crustáceos litorales de humedales del norte de la Patagonia chilena (38° S): rol potencial de la exposición a la radiación ultravioleta. *Boletín del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo* (en prensa). 209-218 p.
- DE LOS RÍOS, P., ACEVEDO, P.; SOTO, D. y NORAMBUENA, J. 2008b. Efectos potenciales a largo plazo y sus consecuencias en la diversidad de crustáceos de aguas continentales en el sur de la Patagonia (51-53° S, Chile). *Boletín del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo* (en prensa) 219-232 p.
- DE LOS RÍOS, P., HAUENSTEIN, E., ACEVEDO, P. y JAQUE, X. 2007. Litoral crustaceans in mountain lakes of Huerquehue National Park (38° S, Araucanía region, Chile). *Crustaceana* 80 (4): 401-410.
- IRIARTE, A., LOBOS G.A., y JAKSIC, F.M. 2005. Invasive vertebrate species in Chile and their control and monitoring by governmental agencies. *Rev. Chilena Hist. Nat.*, 78: 143-151.
- MARINONE, M.C.; MENU-MARQUE, S.; AÑÓN-SUAREZ, D.; DIÉGUEZ, A.; PÉREZ, M.C.; DE LOS RÍOS, P.; SOTO, D. y ZAGARESE, H.E. 2006. UV radiation as a potential driving force for zooplankton community structure in Patagonian lakes. *Photochem. Photobiol.*, 82 (4): 962-971.
- MENU-MARQUE, S.; MORRONE, J.J. y LOCASCIO DE MITROVICH, C. 2000. Distributional patterns of the South American species of *Boeckella* (Copepoda, Centropagidae): a track analysis. *J. Crust. Biol.* 20 (2): 262-272.
- NIEMEYER, H., y CERECEDA, P. 1984. Hidrografía. Colección Geografía de Chile, VIII. Instituto Geográfico Militar del Ejército de Chile. Santiago de Chile. 320 p.

- PEROTTI, M.G., DIÉGUEZ, M.C. y JARA, F.G. 2005. Estado del conocimiento de humedales del norte patagónico (argentina): aspectos relevantes e importancia para la conservación de la biodiversidad regional. *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 723-737.
- SOTO, D.; CAMPOS, H.; STEFFEN, W.; PARRA, O. y ZÚÑIGA, L. 1994. The Torres del Paine lake district (Chilean Patagonia): A case of potentially N-limited lakes and ponds. *Arch. Hydrobiol.*, 99: 181-197.
- VILLAGRÁN, C.; ROMO, M. y CASTRO, V. 2003. Etnobotánica del sur de los Andes de la primera región de Chile: un enlace entre las culturas altiplánicas y de las quebradas altas del Loa superior. *Chungará*, 35(1): 73-124.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TENDENCIAS EN CAUDALES MÁXIMOS EN RÍOS ARGENTINOS

*Statistical Analysis of trends for extreme flows
in Argentinean rivers*

Rafael S. Seoane*¹ y Ana C. Callau²

¹ Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA)-Instituto Nacional del Agua- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina. Departamento de Hidráulica.

Avenida Las Heras 2214 3 Piso.

² Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA)-Instituto Nacional del Agua.

*rseoane@fi.uba.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es detectar la presencia de tendencias en las series de los caudales anuales máximos en cuencas ubicadas en distintas regiones de la República Argentina. Este análisis es útil para la evaluación de los posibles impactos de las tendencias sobre las estimaciones de los caudales usados en el diseño de obras hidráulicas en Ingeniería.

El estudio de las propiedades estadísticas de los caudales extremos se fundamenta en la existencia de las denominadas grandes presas (con alturas mayores de quince metro) diseñadas con modelos matemáticos e información hidrológica observada a principios del siglo pasado.

La metodología propuesta permite estudiar la presencia de cambios en los sistemas hidrológicos analizando series de caudales máximos. Las pruebas no paramétricas aplicadas fueron: Mann-Kendall para la identificación de la presencia de tendencias y Pettitt para la de punto de cambio.

Se seleccionaron series de caudales máximos con registros extensos de cuencas con respuestas hidrológicas diferentes, como son las observadas en los ríos: Paraná (Posadas y Corrientes), Neuquén (Paso de Indios) y Limay (Paso Limay).

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall indican que las series de los ríos Neuquén y Paraná presentan tendencias positivas significativas (nivel de significación del 5% y 10%) y la prueba Pettitt identifica a la década de los setenta como los años de cambio, al inicio para el Neuquén y a partir de 1975 para las series del río Paraná.

Palabras clave: caudales máximos, pruebas estadísticas, tendencias.

SUMMARY

The main goal of this work was to identify trends of annual floods in several catchments in Argentina. This analysis is useful to evaluate the possible impact that trends have over flows that will be used to design hydraulic structures.

The study of the statistical properties of extreme flows is fundamental for large dams (height greater than 15 meters) that were designed using mathematic models and hydrologic and meteorological data observed in the 20th century.

The proposed methodology studies changes in the hydrological systems and analyzes extreme flow series. Non parametric tests were applied: Mann-Kendall to detect trends and Pettitt to identify points of change.

The extreme flow series were chosen for catchments with different hydrological responses and long records. The series were observed in the following rivers: Paraná (Posadas and Corrientes), Neuquén (Paso de los Indios) and Limay (Paso Limay).

The Mann-Kendal test detected positive trends (signification level 5%) in the Paraná and Nequén rivers and the results of the Pettitt test show the 70's as a point of change in the 20th Century.

Key words: extreme flow, statistical tests, trends.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es discutir la importancia de los posibles efectos del calentamiento global sobre una componente del ciclo hidrológico (caudal) utilizada para estimar los parámetros de diseño de obras hidráulicas. El problema es importante debido a que, relativamente pequeños cambios climáticos pueden producir significativos problemas en los recursos hídricos de distintas regiones y especialmente en cuencas hídricas ubicadas en zonas áridas y semiáridas.

Numerosas obras hidráulicas son de propósito múltiple, si bien la mayoría de ellas tienen como un objetivo fundamental la producción de energía o el abastecimiento para riego, contribuyen en forma sustantiva en el control de los escurrimientos para reducir los impactos sociales y económicos de la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos.

Entre los procesos hidrológicos más importantes para la Ingeniería se encuentran: la transformación precipitación-caudal y el análisis de valores extremos de variables hidrológicas (por ejemplo, la intensidad de las precipitaciones o los caudales máximos instantáneos anuales).

Los últimos eventos hidrológicos observados en el mundo y en nuestro país, y los resultados presentados en las últimas conferencias internacionales sobre el tema, muestran la importancia del problema. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ha señalado la importancia de distintos eventos ocurridos en América Latina, entre los cuales se señalan las inundaciones en nuestro Litoral.

Es importante recordar que en todos los casos anteriores las dos ciencias involucradas: Hidrología e Ingeniería desarrollan sus métodos y modelos con una hipótesis subyacente muy importante: las series temporales de las observaciones registradas en el pasado proveen la información de la estructura de los procesos aleatorios que continúan sin modificarse en el futuro. Es decir, no cambian sus propiedades estadísticas con el tiempo.

Esta última característica llevaba directamente a la idea de que contar con series hidrológicas más extensas permitía alcanzar las estimaciones más precisas para el diseño de obras hidráulicas. En la actualidad se presenta un nuevo problema, las observaciones de los períodos más recientes pueden resultar más representativas de los procesos hidrológicos actuales que las registradas en el pasado.

Dawdy (2007) señala que la Ingeniería está asociada a la necesidad de la predicción de variables hidrológicas y que numerosas técnicas de predicción podrían perder su validez rápidamente, dado que no podrían predecir correctamente bajo las nuevas condiciones hidrológicas asociadas con el calentamiento global.

El proceso de estimación de la relación caudal máximo-período de retorno incluye la realización de las siguientes etapas: la selección de una función de densidad de probabilidad, la estimación de sus parámetros, y la posterior aplicación del modelo para definir el caudal máximo anual asociado con una probabilidad de ocurrencia.

En la actualidad, se están desarrollando nuevos modelos de valores extremos que permitan relacionar los caudales con las características de las tormentas (por ejemplo: el tamaño de celdas convectivas) para poder estudiar la sensibilidad de los caudales extremos a las condiciones hidrológicas actuales y futuras.

En nuestro país la mayor parte de la población vive en un área que representa el 24% del territorio nacional, contando esta región con la mayor disponibilidad de agua. En el 61% del área restante, se presentan condiciones de aridez y vive el 6% de la población. Nuevas investigaciones indican que para las regiones áridas y semiáridas, las estimaciones de caudales máximos anuales presentan una mayor incertidumbre comparadas con las regiones húmedas (Meigh *et al.*, 1997).

Esta realidad muestra la importancia del tema del control de inundaciones y plantea la necesidad de contar con un nuevo enfoque para el análisis de distintos escenarios hidrológicos futuros. En este punto, se debe señalar la necesidad del análisis del concepto de período de retorno y las condiciones de aplicación para situaciones no estacionarias (Clarke, 2006).

El método de estimación del caudal de diseño consiste en el análisis de frecuencia de los caudales máximos y es ampliamente utilizado en distintos países del mundo. En muchos casos se incluye una comparación con la CMP (Crecida Máxima Probable). En el caso del Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, para obras con riesgo bajo o significativo y tamaños de estructuras pequeñas y medianas, la crecida de diseño se estima a partir de este tipo de comparación.

En otros países, la estimación de la crecida de diseño se realiza únicamente con el análisis de frecuencia, y los períodos de retorno se seleccionan en función del riesgo de la obra. Entre estos países están: Finlandia, Francia, Alemania, Italia, España, Sudáfrica, República Checa, Austria, Holanda, Suecia.

Los conceptos anteriores muestran la importancia de la detección de tendencia y del punto de cambio para valores máximos de caudales que se propone en este trabajo.

En la Argentina los trabajos de Pasquini y Depetris (2007), Flamenco y Valdés (2001), García y Mechoso (2005) y Menéndez (2003) analizan la presencia de tendencias en series de caudales observados en distintas escalas temporales.

Los conceptos anteriores llevaron a desarrollar un análisis de los caudales máximos observados en algunos importantes sistemas hidrológicos de Argentina.

Las pruebas no paramétricas de Mann-Kendall y de Pettitt fueron aplicadas para la detección de tendencia y punto de cambio, también se aplicó el gráfico de CUSUM para analizar la importancia de los apartamientos de la serie de caudales máximos en términos medios. El trabajo incluye un análisis de la significación de utilizar distintos períodos para realizar la estimación de la relación caudal máximo-período de retorno.

MATERIALES y MÉTODOS

La metodología propuesta para este trabajo consta de las siguientes etapas: la aplicación de distintas pruebas estadísticas (no paramétricas) para la detección de tendencias en series de caudales máximos anuales y un análisis de la importancia del tamaño de los registros utilizados. Se estudia el efecto de los puntos de cambio sobre los criterios de

diseño de las obras civiles ajustando las distintas sub-series identificadas y estimando los caudales asociados a distintos períodos de retorno.

DetECCIÓN DE TENDENCIAS

Los cambios en regímenes hidrológicos pueden ser consecuencia de distintos factores, como pueden ser: la variabilidad y/o cambio en el clima, en los usos del suelo, o la puesta en funcionamiento de un embalse, y se pueden analizar con la aplicación de pruebas para la detección de tendencias.

La importancia de este análisis está asociada con la aplicación del concepto de período de retorno utilizado ampliamente en la Ingeniería como criterio de diseño de obras hidráulicas. El período de retorno es la cantidad promedio de años hasta que ocurra el primer caudal de magnitud mayor o igual que un valor crítico. La forma convencional de estimar un caudal asociado a un período de retorno supone, entre otras, la propiedad de la estacionariedad en la serie utilizada.

La presencia de tendencias en las series de caudales indica un régimen hidrológico cambiante, es decir, no estacionario, lo que implica una necesaria redefinición del concepto de período de retorno. Las tendencias de registros extremos de caudal pueden ser detectadas a través de métodos paramétricos y no paramétricos.

Prueba no paramétrica Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall (MK) es el test no paramétrico más conocido para identificar tendencias en los valores de una variable hidrológica. Por tratarse de un método no paramétrico, la prueba tiene la ventaja de que no hay necesidad de suponer una función de densidad de probabilidad de la variable a ser analizada, ni de la naturaleza de la tendencia (lineal, curvilínea, etc.). Esta prueba fue aplicada por varios autores para estudiar la presencia de tendencias en variables hidrometeorológicas (Hirsch *et al.*, 1982; Lettenmaier *et al.*, 1994; Westmacott y Burn, 1997; Yue *et al.*, 2003; Cunderlik y Burn, 2004).

Esta prueba estadística no-paramétrica tiene como propósito detectar la existencia de tendencia monótona o cambio, gradual o súbito, creciente o decreciente, durante un intervalo de tiempo, sin determinar el momento de ocurrencia del mismo. La prueba supone que los datos (x_1, \dots, x_n) son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Las hipótesis de la prueba se presentan a continuación:

H_0) Los datos (x_1, \dots, x_n) corresponden a una muestra de n variables aleatorias, independientes e idénticamente distribuidas.

H_1) Las distribuciones de x_j y x_k no son idénticas para todos los $k, j < n$ con $k \neq j$.

Para aplicar la prueba se estiman los siguientes estadísticos:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

donde:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta > 0 \\ 0 & \text{si } \theta = 0 \\ -1 & \text{si } \theta < 0 \end{cases}$$

La distribución de S, bajo la hipótesis de que no existe tendencia, es asintóticamente normal y los valores teóricos de la media y la varianza son:

$$E(S) = 0$$

$$Var(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18}$$

donde N es la longitud total de la serie, t representa la longitud de valores repetidos de la variable en la serie y \sum_t simboliza la suma sobre el número de empates.

Se puede asociar el valor del estadístico S al de la variable Z, normal estandarizada, según:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

El nivel de significación de la prueba es la probabilidad de cometer el error de rechazar H_0 cuando esta hipótesis es cierta. Para la prueba de MK, el valor p es la probabilidad de que una variable aleatoria normal estándar tome valores en módulo mayores que el valor calculado de $|Z|$. Para que el nivel de significación de la prueba sea α , la hipótesis nula H_0 se rechaza si $|Z| > z_{\alpha/2}$, lo que es equivalente a que $p < \alpha$.

La prueba de Mann-Kendall sirve para detectar tendencias en series. La magnitud de la tendencia puede expresarse mediante la pendiente, es decir, cambio por unidad de tiempo, lo que no implica suponer que la tendencia es lineal en la media del proceso.

Gráfico de CUSUM

Si existe una tendencia, se debe verificar si la forma de la función de densidad de probabilidad adoptada para cada río varía según las series observadas antes y durante la tendencia.

El gráfico de CUSUM (Cumulative Sum) se utiliza para detectar a partir de qué observación se producen cambios en la media del proceso. Este consiste en graficar la suma acumulada de los desvíos entre cada observación y el valor medio de la muestra. En el gráfico se presenta S_m en función del número de muestra m. Se estima S_m para cada observación Q_i con la siguiente fórmula:

$$S_m = \sum_{i=1}^m (Q_i - \bar{\mu})$$

El valor $\bar{\mu}$ es el valor medio de la muestra y Q_i es la observación i de la muestra.

La determinación de los diferentes períodos de observación permite comparar a las sub-series a partir de las características estadísticas de cada una.

Prueba no paramétrica de Pettitt

La prueba de Pettitt es no paramétrica y se utiliza para identificar posibles puntos de cambio en las series analizadas. Esta prueba consiste en comparar distintas sub-series, y presenta los siguientes indicadores:

$$U_{t,T} = t \sum_{j=1}^{t-1} \text{sign}(x_t - x_j)$$

Para estimar la probabilidad significativa del punto de cambio, se utiliza la siguiente ecuación:

$$p(t) = 1 - \exp\left(\frac{-6U_{t,t}^2}{T^3 + T^2}\right)$$

Siendo T la cantidad de registros de la serie.

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA BÁSICA UTILIZADA

Las series de caudales máximos seleccionados para realizar el análisis corresponden a distintos sistemas hidrológicos, que presentan diferentes regímenes de alimentación. Estas series fueron observadas en cuencas con distintas características hidrológicas y niveles de aprovechamiento de los recursos hídricos. Las estaciones de aforo utilizadas presentan una cantidad importante de registros, factor que puede influir en los resultados obtenidos, como se demuestra en el presente trabajo.

El primer sistema analizado es el del río Paraná y por su importante oferta hídrica esta región presenta la mayor concentración de población, desarrollo urbano y actividad económica del país. La cuenca presenta un clima tropical con precipitaciones concentradas en los meses de verano, que establecen el régimen del río hasta su confluencia en el río De La Plata con predominio de caudales de verano-otoño. Se analizan las dos siguientes series de caudales máximos registradas en las estaciones ubicadas sobre el río Paraná: Posadas (Ita Cuá) y Corrientes. La primera está ubicada aguas arriba de la confluencia del río Paraguay y Paraná y la segunda aguas abajo de esta descarga. La presa de Yacyretá está ubicada sobre el río Paraná y presenta una potencia instalada de 3.200 MW. La energía generada abastece al 15 % del total de la demanda de electricidad argentina. Este río es la principal vía navegable del país y en la cuenca del Paraná medio se encuentran importantes asentamientos humanos e industriales.

El segundo sistema analizado es el del río Negro. Los ríos pertenecientes a este sistema nacen en la Cordillera de los Andes y aumentan su caudal con el derretimiento de la nieve, el régimen hidrológico es del tipo pluvio-nival con año hidrológico abril-marzo. En general, estos ríos atraviesan gran parte de la zona árida y semiárida sin recibir aportes de importancia. En estos ríos se han desarrollado sistemas de embalse para la generación de energía eléctrica y la regulación de crecidas, e irrigación, conformando el 43% de la potencia hidroeléctrica instalada en Argentina. (Secretaría de Energía, 2004). En las márgenes de estos cursos se ubican los más importantes asentamientos poblacionales de la región sur del país. Entre las principales obras hidroeléctricas se encuentran: El Chocón, Piedra del Águila, Alicurá y Planicie Banderita. Las series

analizadas fueron registradas en los ríos: Neuquén (estación Paso de Indios) y Limay (estación Paso Limay).

A continuación se presenta en la Tabla 1 un resumen con las principales características de las cuencas estudiadas y la ubicación de la estación de aforos seleccionada para cada uno de los casos.

Tabla 1: Características de cuencas y estaciones utilizadas.

| Río | Estación | Cuenca | Área (km ²) | Tipo de Clima | Latitud | Longitud |
|---------|----------------|--------------------------|-------------------------|---------------|---------|----------|
| Paraná | Posadas | Paraná hasta confluencia | 975375 | Hiperhídrico | 27°23' | 55°53' |
| Paraná | Corrientes | Propia del Paraná Medio | 1950000 | Hídrico | 27°16' | 58°14' |
| Neuquén | Paso de Indios | Neuquén | 30843 | Árido | 38°31' | 69°24' |
| Limay | Paso Limay | Limay | 26400 | Semiárido | 40°32' | 70°26' |

Se utilizó la clasificación climática propuesta en Moyano y Díaz (2006), que elaboraron un mapa con la clasificación de las distintas regiones de la Argentina de acuerdo con su correspondiente régimen hídrico.

Se presenta en la Tabla 2 la siguiente información: cantidad de años de las muestras analizadas (N), años de registro y los principales estadísticos de las series de máximos: media en m³/seg (\bar{Q}), coeficiente de variación (CV), asimetría (S) y kurtosis (K).

Tabla 2: Estadísticos de las muestras de caudales máximos analizadas.

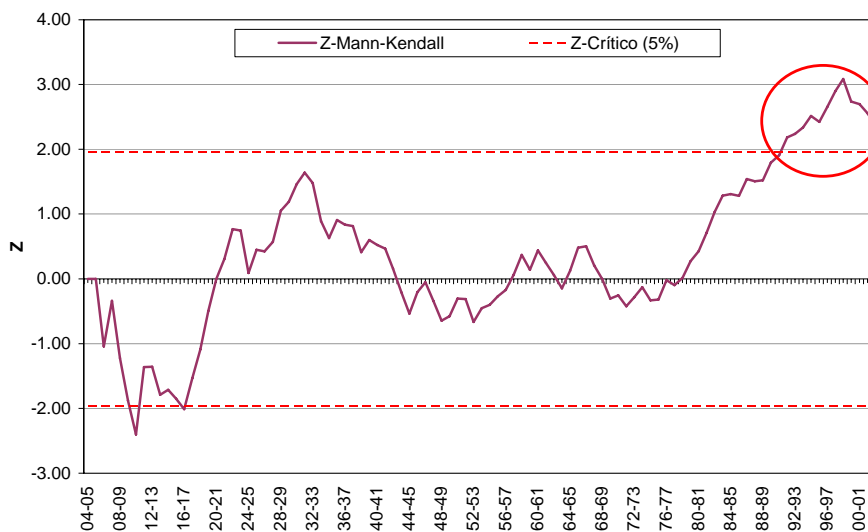
| Río | Estación | N | Años de Muestra | \bar{Q} | CV | S | K |
|---------|--------------------|-----|-----------------------|-----------|------|------|-------|
| Paraná | Posadas | 99 | 1901-1902 a 99-2000 | 25657 | 0.28 | 1.42 | 3.09 |
| Paraná | Corrientes | 99 | 1904-1905 a 2002-2003 | 29444 | 0.26 | 1.42 | 2.95 |
| Neuquén | Paso de los Indios | 106 | 1903-1904 a 2008-2009 | 1936 | 0.65 | 1.06 | 1.24 |
| Limay | Paso Limay | 106 | 1903-1904 a 2008-2009 | 2538 | 0.48 | 0.43 | -0.82 |

RESULTADOS

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall muestran que las series de máximos que presentan tendencia creciente estadísticamente significativa, son las correspondientes a los ríos Paraná (en ambas estaciones) y Neuquén, mientras que el río Limay no presenta tendencia significativa.

Los cambios en las series observadas se estudian determinando, inicialmente, los diferentes períodos de análisis del registro total mediante el gráfico CUSUM (Vich *et al.*, 2006). La prueba Pettitt identifica como años de cambio en las series de los ríos Paraná a la década de los setenta y en el Neuquén a principios de la misma década, Tabla 3.

Tabla



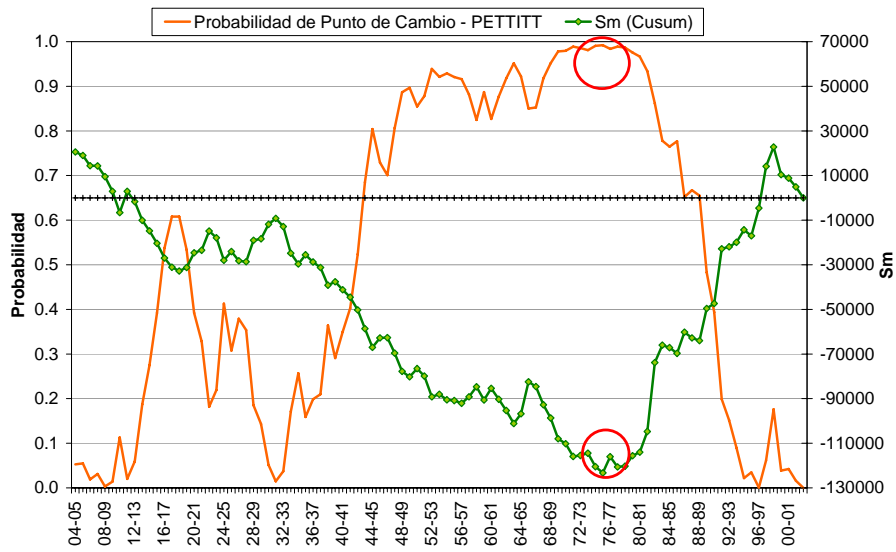
3:

Resultados prueba Mann-Kendall

Comparación de resultados obtenidos.

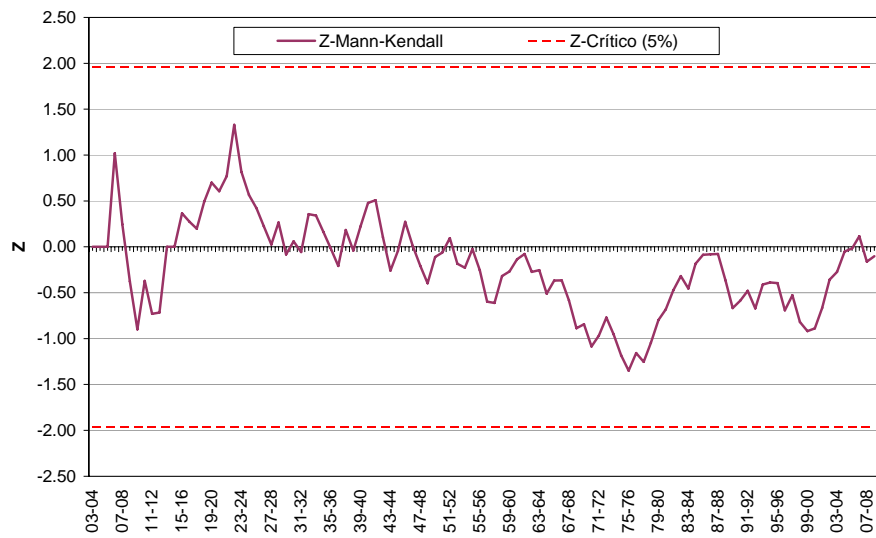
| Río | Estación | MK | CUSUM | Pettitt |
|---------|----------------|-----------------|--------------|--------------|
| | | p-value (final) | Año de Corte | Probabilidad |
| Paraná | Posadas | 0.10 | 77-78 | 0.97 |
| Paraná | Corrientes | 0.01 < | 75-76 | 0.99 |
| Neuquén | Paso de Indios | 0.01 < | 70-71 | 0.94 |
| Limay | Paso Limay | 0.9 | - | - |

Se presentan las Figuras 1 y 2 los resultados de las pruebas aplicadas para dos de los casos analizados, uno en que la tendencia es significativa y el segundo caso en que no hay tendencia significativa.

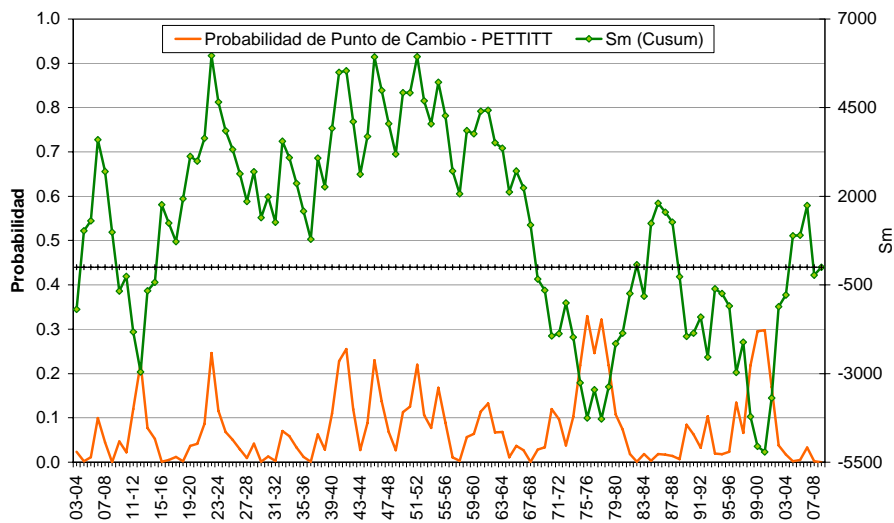


b) Resultados CUSUM y prueba de Pettitt

Figura 1. Resultados de serie con tendencia significativa. Río Paraná, Corrientes



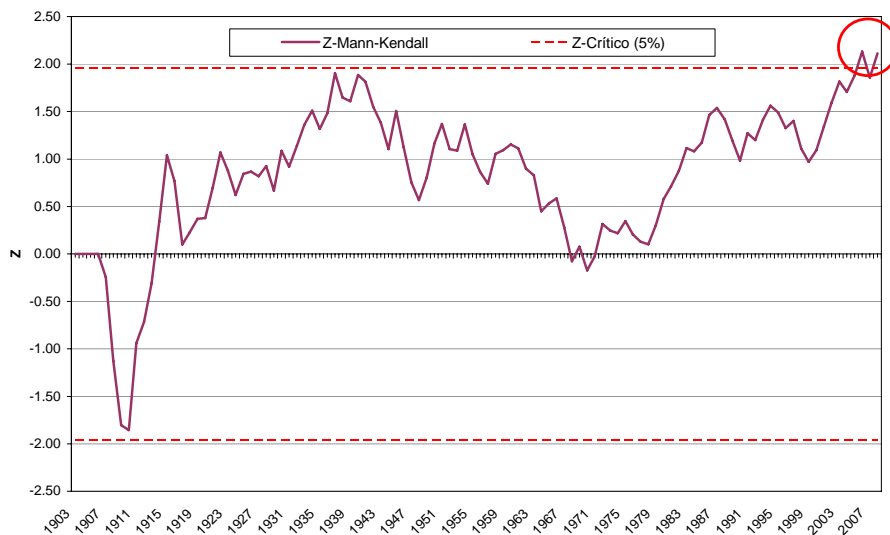
a) Resultados prueba Mann-Kendall



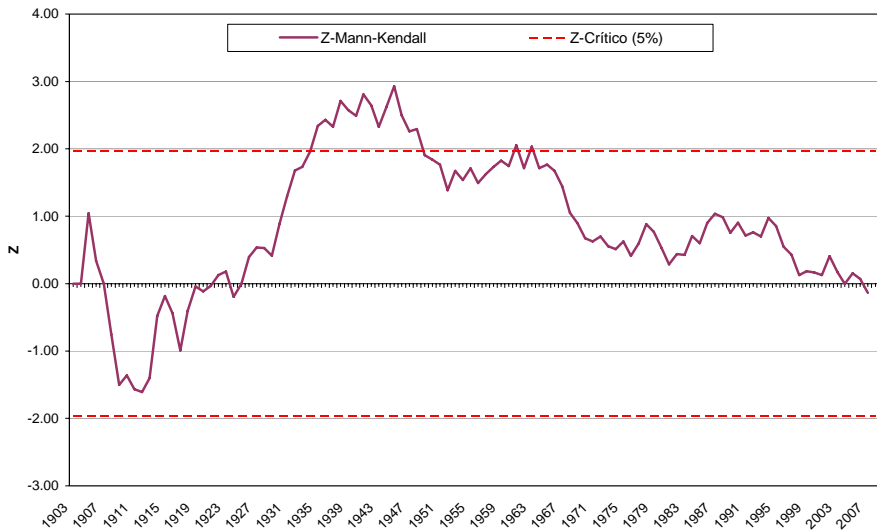
b) Resultados CUSUM y prueba de Pettitt

Figura 2. Resultados de serie con tendencia no-significativa. Río Limay, Paso Limay.

Adicionalmente se ha estudiado la tendencia de la series de caudales máximos registrados en el río Neuquén, estación Paso de Indios, pero separando las crecidas correspondientes a alimentación pluvio-nival y de fusión nival. Los resultados indican que las crecidas de origen pluvial-nival, es decir las registradas en invierno, presentan una tendencia positiva significativa, mientras que las crecidas registradas en verano, de alimentación debida a la fusión nival, no presentan tendencia.



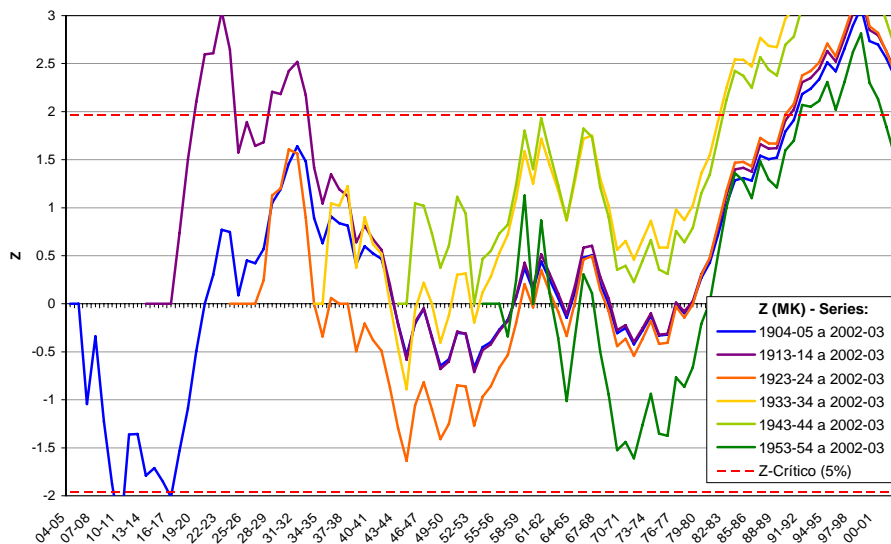
a) Caudales máximos Pluvio-nival (Invierno)



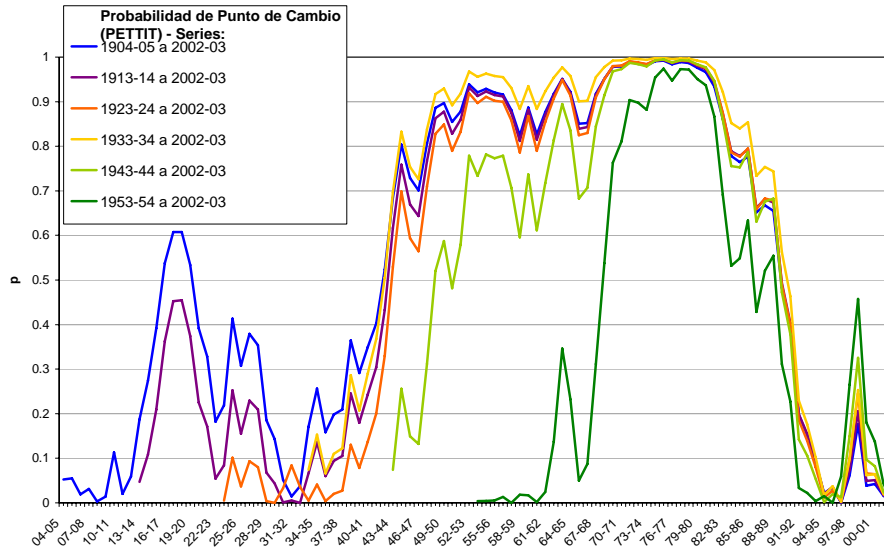
b) Caudales máximos Fusión Nival (Verano)

Figura 3. Resultados de la prueba de MK aplicados a las series de caudales máximos registrados en la estación Paso de Indios del río Neuquén.

Se realizó un experimento numérico para evaluar el efecto de la cantidad de observaciones sobre la capacidad de detección de la presencia de cambios en las series de caudales máximos. Se aplicaron las pruebas Mann-Kendall y Pettitt sobre distintas subseries (con diferentes cantidades de observaciones) de caudales máximos registrados en el río Paraná (Estación Corrientes). La prueba más influida por las distintas cantidades de datos es la de Mann-Kendall, mientras que Pettitt indica resultados muy similares para las distintas series.



a) Resultados prueba Mann-Kendall



b) Resultados prueba Pettitt

Figura 4. Resultados de las pruebas MK y Pettitt a distintas sub-series.

Las Figuras muestran que para el caso de la serie más corta (1953-54 a 2002-03) la prueba de MK está indicando que la tendencia no es significativa, mientras que para las demás series, que son más extensas, esta prueba indica que las series presentan tendencia significativa. En cuanto a la prueba Pettitt, las probabilidades asociadas al punto de cambio son altas para todas las sub-series analizadas, aunque para la sub-serie más corta esta probabilidad es ligeramente menor que para los otros casos. Por lo tanto, la longitud de la serie debería ser considerada al estudiar los resultados de la prueba de Mann-Kendall.

Desde un punto de vista de las aplicaciones a la Ingeniería resulta importante analizar el efecto de la utilización de una parte de la serie de valores extremos que resulte representativa de los procesos actuales. Para esto se han estimado los caudales asociados a distintos períodos de retorno, considerando la serie total y dos sub-series. Se ajustaron las series con un modelo GEV (Generalizado de Valores Extremos) y los parámetros se estimaron con el método de Máxima Verosimilitud (MV).

Los resultados indican que para un mismo período de retorno, el caudal estimado a partir de la sub-serie observada hasta la década del 70 es menor que para el caso del ajuste de la sub-serie observada en los últimos 30 años. La Figura 5 muestra un ejemplo de estos resultados para el caso de la serie de caudales máximos registrados en la estación Corrientes.

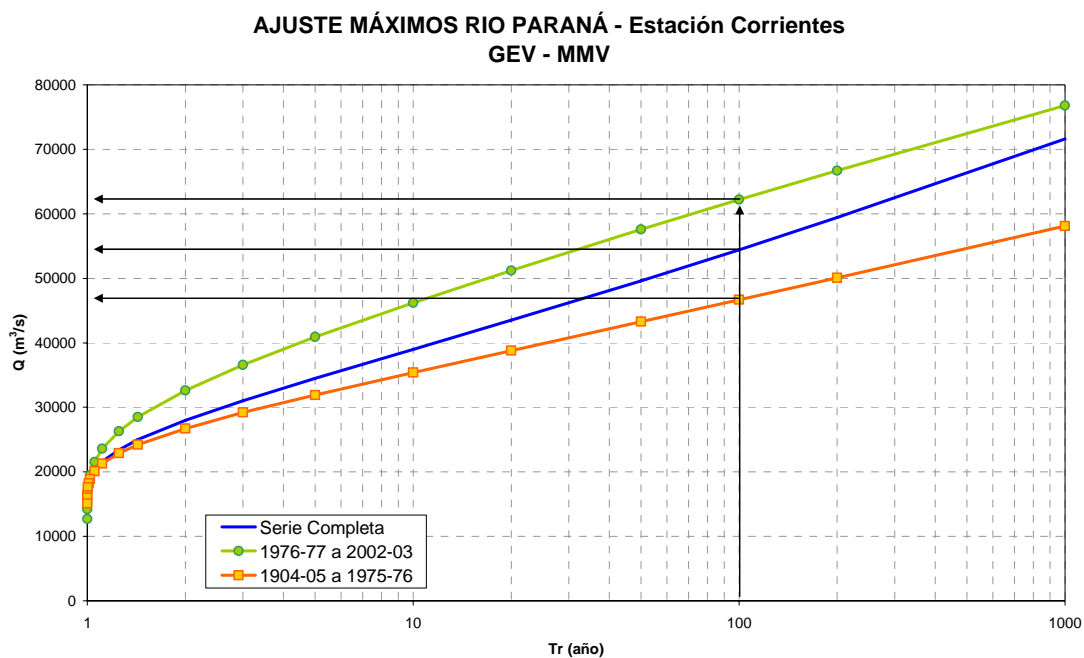


Figura 5. Ajuste a distintas sub-series de caudales máximos registrados en la estación Corrientes del río Paraná.

En la Tabla 4 se presentan los caudales asociados a un período de retorno de 100 años, estimados a partir de las tres series observadas en cada una de las estaciones estudiadas. Los resultados indican la variación de los caudales máximos anuales utilizando la segunda parte de la serie que puede alcanzar incrementos en la estimación del orden de hasta el 15 %.

Tabla 4: Análisis de la importancia de la identificación del punto de cambio para un período de retorno de 100 años.

| Río | Estación | Q (Tr=100 años) – Ajuste GEV – MV | | |
|---------|----------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | Serie Total Q (m ³ /s) | Sub-serie 1 Variación Q (%) | Sub-serie 2 Variación Q (%) |
| Paraná | Posadas | 48800 | -11% | +14% |
| Paraná | Corrientes | 54400 | -14% | +14% |
| Neuquén | Paso de Indios | 6330 | -21% | +15% |

Estos resultados se deben a que las series de caudales máximos analizadas presentan tendencias significativas crecientes, por lo que las observaciones en el segundo período de registros son mayores que las observadas desde principio del siglo pasado.

Se puede concluir que para un mismo valor de período de retorno, adoptado como criterio de diseño de las obras hidráulicas, el caudal de diseño de la obra dependerá de la serie de registros utilizada para la estimación. Los resultados presentados en Tabla anterior muestran numéricamente la significación de la selección de la serie de valores

máximos cuando se diseña una obra hidráulica aplicando la relación período de retorno-caudal máximo.

CONCLUSIONES

Los sistemas hídricos seleccionados presentan las características comunes de contribuir a la generación hidroeléctrica y al control de inundaciones en Argentina.

La primera cuenca resulta de vital importancia por su área, concentración de poblaciones e importancia de la afectación económica debida a las inundaciones. Los trabajos de Flamenco y Valdés (2001) han analizado los caudales medios anuales en distintos sistemas hidrológicos de Argentina.

En la cuenca del Plata, García y Vargas (1998) analizan la evolución de los caudales medios mensuales, Camillioni y Barros (2003) muestran la relación entre las precipitaciones y las crecidas máximas asociadas con la ocurrencia del evento de El Niño y Menéndez (2006) señala la presencia de tendencias de los caudales en distintas escalas de tiempo.

En nuestro trabajo, los resultados de la prueba de Mann-Kendall indican que las series de caudales máximos diarios observados en los ríos Paraná y Neuquén presentan tendencias significativas positivas y la serie observada en el río Limay no presenta tendencia significativa.

Desde un punto de vista de la Ingeniería Hidrológica los resultados de la prueba aplicada de Pettitt son una contribución importante que permite una identificación del año de la serie de máximos para el punto del cambio y el análisis de los efectos sobre los caudales asociados con distintos período de retorno.

Además, los puntos de cambio identificados con la prueba de Pettitt son coincidentes con los obtenidos mediante el gráfico de CUSUM, pero la significación de la primera prueba es la estimación de la probabilidad asociada al punto de cambio.

Este último resultado es un aporte para el análisis hidrológico-hidráulico de las futuras obras y la importancia de los análisis de la seguridad para las obras que fueron calculadas en distintos períodos a principios del siglo XX.

Es importante mencionar que la longitud y características estadísticas de las series de valores extremos podrían influir en los resultados de las pruebas. Una cantidad mínima de información hidrológica debería utilizarse para asegurar la significación de los resultados.

La segunda zona fue estudiada, entre otros investigadores, en Seoane *et al.* (2005), Seoane y López (2007). En el primero de los trabajos se analiza la cuenca del río Neuquén y en el segundo la presencia de tendencias en el río Limay. Un resultado interesante es la detección de puntos de cambio para la misma década para dos regiones que presentan características hidrológicas muy diferentes

Los resultados de un experimento numérico obtenido con las observaciones de las series históricas importantes por su longitud, muestran la significación de analizar la presencia de dos sub-series. En el caso de la serie de caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años se alcanza hasta un 15% de diferencia en las estimaciones de los caudales máximos anuales

BIBLIOGRAFÍA

ARNELL, N.W. 1989. Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe. *FRIENDS in Hydrology, IAHS*, 187: 237-249.

- CAMILLIONI I.A. y Barros, V.R. 2003, Extremes discharges events in the Paraná river and the climate forcing, *J. of Hydrology*: 94-106.
- CLARKE, R.T. 1994. Statistical modeling in hydrology. Editors John Wiley & Sons Ltd.
- CLARKE, R.T. 2006. Análisis estadístico de eventos extremos en un contexto no estacionario: 209-226. El cambio climático en la cuenca del Plata. Editores Vicente Barros, Robin Clarke y Pedro Silva Días. Instituto Interamericano para el Cambio Climático.
- CUNDERLIK, J.M. y BURN, D.H. 2004. Linkages between regional trends in monthly maximum flows and selected climatic variables. *Journal of Hydrologic Engineering ASCE*, 94: 246-256.
- DOUGLAS, E.M., R.M. VOGEL Y C.N. KROLL, 2002. Impact of streamflow persistent on hydrologic design. *Journal of Hydrologic Engineering*, 73: 137-146.
- FEALY, R. y J. SWEENEY, 2005. Detection of a possible change point in atmospheric variability in the North Atlantic and its effect on scandinavian glacier mass balance. *International Journal of Climatology*, 25: 1819-1833.
- FLAMENCO, E. A., y VALDÉS, J. B., 2001. Cambio del régimen hídrico en importantes ríos de la república Argentina. IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Buenos Aires, Argentina.
- GARCÍA, N.O. y MECHOSO, C.R., 2005. Variability in the discharge of South American rivers and climate. *Hydrological Sciences Journal* 503: 459-478.
- GARCIA, N y W. VARGAS 1998. The temporal climatic variability in the Uruguay river and their climate forcing, *J. Hydrology*, 278: 94-106.
- GELLENS, D. y ROULIN, E. 1998. Streamflow response of Belgium catchments to IPCC climate change scenarios. *Journal of Hydrology* 210: 242-258.
- GUMBEL, E.J. 1941. The return period of flood flows. *Ann. Math. Stat*, 122: 163-190.
- HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R. y SMITH, R.A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 181: 107-121.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, 2001. Changes in hydrological drought frequency. Climate change: Working group II: Impacts, adaptation and vulnerability.
- KROLL, C.N.; LUZ J.; ALLEN. B. y VOGEL, R. 2004. Developing a Watershed Characteristic Database to Improve Low Streamflow Prediction. *Journal of Hydrologic Engineering*: 116-125.
- LETTENMAIER, D.P.; WOOD, E.F. y WALLIS, J.R. 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States 1948-1988. *Journal of Climate* 74: 586-607.
- NIST/SEMATECH, 2006. e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, Capítulo 7.
- MENENDEZ, A. 2006. Tendencias hidrológicas en la Cuenca del Plata: 81-92. El cambio climático en la cuenca del Plata. Editores Vicente Barros, Robin Clarke y Pedro Silva Días. Instituto Interamericano para el Cambio Climático.
- MOYANO, C.M. y DÍAZ, R.A. 2006. Tierras secas en Argentina. Asociación Argentina de Agrometeorología. AADA. La Plata.
- PASQUINI, A.I., y DEPETRIS, P.J. 2007. Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. *Journal of Hydrology*, 333: 385-399.
- SEOANE, R., VALDÉS, J. y MATA, L.J. 2005. Climate variability and climate change in Patagonian rivers. 26-36. pp Regional Hydrological Impacts of Climatic Change

- Impact Assessment and Decision Making. Edited by Stewart Franks, Thorsten Wagener, Eva Bøgh, Hoshin V. Gupta, Luis Bastidas & Carlos Nobre & Carlos de Oliveira Galvão Publ. 296
- SEOANE, R. y LÓPEZ, P. 2007. Assessing the effects of climate change on the hydrological regime of the Limay River basin. *Geojournal*, 70 (4): 251-256.
- SEOANE, R.S.; LOPEZ, P.M.; MOYANO, C.; CALLAU, A.; KOUTSOVITIS, M.E. y TOMAZIN, N. 2007. Análisis de la respuesta hidrológica en una cuenca bajo distintas hipótesis de cambio climático. *Informe final, Proyecto Institucional, INA*: 40-50.
- UNEP.1997. United Nations Environment Programme. World Atlas of desertification. Editors Middleton N. and Thomas D.
- VICH, A.I.; LÓPEZ P.M. y MARTÍNEZ, E. 2006. Detección de tendencias y cambios abruptos en el régimen fluvial de ríos de Argentina, con nacientes en la Cordillera de los Andes. Libro de Resúmenes del Simposio sobre Cambio Climático: Organizando la Ciencia para la Cordillera Americana CONCORD: 62-63.
- WESTMACOTT, J.R. y BURN, D.H. 1997. Climate changes effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River Basin. *Journal of Hydrology*, 202: 263-279.
- WOOD, T.R. 1987. Present-day hydrology of the River Severn. *Paleohydrology in Practice: A River Basin Analysis*: 79-97.
- YUE, S.; PILON, P.; PHINNEY, B. y CAVADIAS, G. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16: 1807–1829.
- YUE, S.; PILON, P. y PHINNEY, B. 2003. Canadian streamflow trend detection: Impacts of serial and cross-correlation. *Hydrological Sciences Journal* 481: 51–63.

PERCEPCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO POR UNA COMUNIDAD GANADERA EN LOS HUMEDALES DEL SUR DEL PARAGUAY

*Perception of the Climate Change by a Livestock Community in the Wetlands of the
South of Paraguay*

Salas-Dueñas

Fundación Moisés Bertoni Asunción – Paraguay.
dsalas@mbertoni.org.py

RESUMEN

A mediados del 2008, un equipo interdisciplinario desarrolló una investigación relacionada con el efecto del Cambio Climático sobre las actividades que desarrollan los habitantes de

Isla Umbú, una pequeña localidad del Paraguay, considerada como la cuenca lechera del Departamento de Ñeembucú. Este lugar fue escogido por su relativo aislamiento y forma de vida que depende en buena medida del estado de los humedales. Del mismo modo, la zona es altamente susceptible de ser afectada por los fenómenos de creciente fluvial acompañados de inundación al comportarse como una perfecta "caja de resonancia" de la oscilación climática de "El Niño"

Como resultado de la investigación se logró determinar que para los habitantes los principales efectos del Cambio Climático son sobre la infraestructura, los sistemas productivos, los aspectos sociales y ambientales; muchos de los cuales están directamente relacionados con las modificaciones que han tenido los humedales, especialmente como resultado de la ejecución de un proyecto de canalización que se implementó hasta el año 2001, en el marco de una política de "recuperación" de áreas consideradas como afectadas por inundaciones relacionadas con el fenómeno de "El Niño"

Igualmente, se identificaron por parte de las comunidades las principales limitaciones para enfrentar el Cambio Climático, entre las que sobresale el tema de información como el más relevante, pero al mismo tiempo el más deficiente. Finalmente las mismas comunidades han podido identificar acciones que a juicio de ellas son necesarias para enfrentar las nuevas condiciones ambientales.

Palabras clave: cambio climático, Paraguay, Isla Umbú, comunidades, percepción, limitaciones, acciones, adaptación

SUMMARY

In the middle of 2008, an interdisciplinary team developed a research study on the effect of the climate change on the activities of the inhabitants of Isla Umbú, a small locality of Paraguay, considered the dairy region of the Department of Ñeembucú.

This place was selected because of its relative isolation and way of life that depends mainly on the state of the wetlands. Similarly, the zone is highly susceptible to be affected by the phenomenon of the rising river accompanied by flood as it behaves like a perfect "resonance box" of the climate oscillation of "El Niño"

As a result of this research, it was determined that, according to the inhabitants, the major effects of the Climate Change are those on Infrastructure, Productive Systems and Social and Environmental Aspects. Many of these effects are directly related to the modifications suffered by the wetlands, mainly as a result of a channelling project implemented until 2001 within the frame of a “recovery” policy of areas considered affected by floods related to “El Niño”

Likewise, the communities identified the main limitations to confront the Climate Change being the information the most relevant and deficient at the same time. Finally, the communities themselves have been able to identify the actions they think are necessary to confront the new environmental conditions.

Key words: climate change, Paraguay, Isla Umbú, communities, perception, limitations, actions, adaptation

INTRODUCCIÓN

A mediados del 2008, técnicos de la Fundación Moisés Bertoni y estudiantes y profesores de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Pilar desarrollaron en Isla Umbú, una pequeña localidad del Paraguay, localizada en el Departamento de Ñeembucú, una investigación relacionada con el efecto del cambio climático sobre las actividades cotidianas que sus habitantes desarrollan.

Esta localidad fue fundada en 1860, a 12 km al sur de su capital la ciudad de Pilar y es conocida como la cuenca lechera del Ñeembucú ya que produce el mayor volumen de leche que consume la ciudad de Pilar. Se conserva relativamente aislada, con algo menos de 4000 habitantes, rodeada de grandes humedales, muy cerca de la intercepción del río Paraguay por parte del río Paraná y

Este lugar fue determinado como objeto de esta investigación por su relativo aislamiento y forma de vida dependiente en buena medida del estado de los humedales, donde es posible de observarse el efecto que haya tenido el cambio climático en la zona.

Del mismo modo, la zona es altamente susceptible de ser afectada por los fenómenos de creciente fluvial acompañados de inundación al comportarse como una perfecta “caja de resonancia” de la oscilación climática de “El Niño” (Contreras, 2003)

MATERIALES Y MÉTODOS

Como paso previo de la investigación se realizó en varios espacios una convocatoria de participación a la totalidad de la población, para desarrollar una jornada en la que participaron más de 45 adultos representantes de igual número de familias y con la participación de algunos de los estudiantes de la universidad con vínculos familiares directos en la comunidad, Previamente se había trabajado con los estudiantes para que ellos pudieran desarrollar las distintas dinámicas implementadas con los miembros de la comunidad y de esa forma facilitar el proceso de obtención de la información de modo homogéneo entre los grupos.

Se desarrollaron varias charlas y posteriormente trabajos dinámicos en cuatro grupos dirigidos a contestar una serie de preguntas acordes al trabajo desarrollado previamente con los mismos. Posteriormente se efectuaron entrevistas a profundidad con diversos referentes del área, especialmente tratando de cubrir los niveles socioeconómicos mas preponderantes, pequeños productores de lácteos y grandes ganaderos productores de carne.

En la mayoría de los casos, el idioma predominante fue el guaraní, dado que facilita a los participantes su participación, solamente algunas pocas personas que por dominio del castellano prefirieron desarrollar su participación en este idioma.

RESULTADOS

Principales efectos del CC en Isla Umbú

A-Infraestructura:

- Obras realizadas años atrás con el objeto de recuperar áreas consideradas improductivas dado que periódicamente se inundaban, son obsoletas en algunos casos o en otras tienen efectos adversos, pues se ha detectado que los canales construidos para desecar áreas tienen impacto en época de grandes sequías lo que va en contra de los deseos y necesidades de los habitantes, pues en época de sequía los mismos no tienen agua, existe un cambio de la circulación del agua, se puede observar el deterioro y destrucción de canales, se acumula basura en los campos porque los canales de desagüe están taponados, se tiene una menor capacidad de los mismos por culpa de la suciedad y/o falta de agua.
- La sequía acentuada que afecta el estado de los caminos formando grandes arenales y áreas con mucho polvo. En la época de lluvia que es más corta que la media histórica, los caminos tienen mucha agua lo que no permite tránsito.
- La sequía prolongada tiene impacto en las casas, dado el tipo de construcción de barro, por lo que muchas están deteriorándose (rajaduras) al estar tanto tiempo bajo el sol y con una baja humedad.
- Debido al aumento de las tormentas en época de lluvia, la energía eléctrica sufre frecuentes cortes, e igualmente se requiere la compra de electrodomésticos para adaptarse a las nuevas condiciones ambientales (altas temperaturas, largos periodos sin agua, periodos más estacionales de grandes inundaciones, etc.)
- Algunas de las adecuaciones realizadas por los productores para subsanar la falta de agua durante largos periodos (tajamares y tanques australianos) son insuficientes, pues los efectos cada vez son más fuertes y son insuficientes en tamaño y capacidad.

B- Sistema Productivo:

- Se han modificado los calendarios climáticos lo que tiene se traduce en pérdidas de cultivos agrícolas y forrajeros por exceso de lluvias y sequías y por la falta de capacidad de adaptación de los pequeños propietarios a las nuevas condiciones ambientales. Mantienen calendarios agrícolas que no son funcionales con las nuevas condiciones ambientales.
- Se ha acentuado la ocurrencia de fenómenos considerados como puntuales (heladas), causando una disminución en el rendimiento de la pastura cultivada. Igualmente, las altas temperaturas reinantes en un periodo de tiempo más extenso tiene un efecto en la reducción de la producción de leche, sin embargo, algunos fenómenos como el granizo han disminuido lo que se considera bueno para los cultivos, a pesar de la percepción de una disminución de la temperatura (hace más frío) y una mayor frecuencia en la neblina.
- Las condiciones ambientales son propicias para la aparición y aumento de plagas y enfermedades, en la agricultura y la ganadería.
- Rubros productivos no tradicionales, que estaban siendo implementados exploratoriamente son viables, debido los cambios que se están teniendo en el clima.

de la zona.

- Existe un aumento del costo de producción, debido a la pérdida en el peso de los animales y por lo tanto se requiere del traslado de una parte de ellos a nuevas áreas de pastoreo, lo cual tiene repercusión en los costos finales.

C-Social:

- Se considera que hay un aumento de enfermedades respiratorias motivadas principalmente por las nuevas condiciones climáticas.
- Existe un aumento de la migración por la disminución de la productividad, lo que repercute en la desintegración familiar.
- Se tiene una mayor demanda de esfuerzo de trabajo para cubrir las tareas, lo que significa un aumento en la cantidad de las horas de trabajo en las fincas.
- Se aprecia una disminución de los recursos destinados por los habitantes para la educación y salud.
- El aumento del calor ha llevado a cambios en el horario de trabajo, existe una disminución de la atención del niño en clase por el calor. Igualmente, se han modificado los hábitos como la hora de dormir, la cual es ahora más tarde esperando una disminución en la temperatura
- Se han tenido que incorporar como parte de sus gastos económicos la compra de ventiladores y aire acondicionado

D-Ambiental:

- Se ha apreciado una disminución de las áreas de humedales, lo que también se refleja en la disminución de la biodiversidad especialmente de aves.
- Las condiciones de altas temperaturas generan la explosión de algunos tipos de insectos y arácnidos considerados plagas para los humanos
- Con la disminución de las áreas de humedales producto de veranos más prolongados, se registra un aumento de la cacería de animales silvestres como carpincho, yacaré y kyja, debido a que estas especies se concentran en algunas zonas buscando agua.
- La práctica agrícola de quemar pastizales para utilizar su rebrote en la alimentación de animales se ha acentuado lo que tiene impacto negativo en la fauna, así como en la salud de los habitantes.
- Se ha detectado un aumento de la temperatura de pequeños reservorios de aguas lo que ha originado mortandades de peces y migraciones de otras especies.

Principales limitaciones para enfrentar el CC en Isla Umbú

- Se han detectado diversos elementos considerados clave por la comunidad, especialmente limitaciones en información y recursos humanos capacitados para responder a las nuevas condiciones ambientales
- Requieren mejorar, ampliar y dar mantenimiento adecuado a la infraestructura y , incluyendo recursos económicos para capacitar a funcionarios en el manejo y mantenimiento de las mismas.
- Dadas las nuevas condiciones se requiere diversificar las actividades económicas y dar asistencia técnica personalizada a cada productor, incluyendo actividades de seguimiento y concienciación con los mismos.
- Se considera que existe inacción por parte del estado en informar, capacitar y

promover mecanismos de adaptación a las nuevas condiciones, así como la promoción de mecanismos de subsidio para contener las pérdidas económicas.

- Es necesaria una mayor participación comunitaria en los procesos de capacitación, discusión y búsqueda de soluciones, incluyendo los trabajos comunitarios
- Igualmente, se considera muy limitada y puntual la labor de las entidades no gubernamentales.
- Se considera por parte de los habitantes que el marco legal ambiental existente no se aplica lo que genera un problema mayor y que algunas partes de la legislación están desactualizadas con las nuevas realidades ambientales.
- Igualmente, se detecta una serie de alternativas inexistentes, como es el caso de insecticidas o plaguicidas.

Necesidades de información para enfrentar los efectos de CC a nivel local

- Se precisa de información general básica adecuada a la realidad sobre el Cambio Climático, incluyendo posibles soluciones prácticas, esto bajo un programa de capacitación de amplio alcance donde las familias de lugares aislados puedan acceder a la misma.
- Se necesita precisar qué acciones pueden realizarse en épocas de sequía o inundación para mitigar los efectos del Cambio Climático.
- Igualmente, se precisa de información sobre variedades que se adapten a las nuevas condiciones climáticas, e información sobre técnicas de manejo de producción que permita mejorar las prácticas agrícolas y pecuarias.
- Conocer posibles fuentes de información a las que se pueda acudir con el objetivo de recibir capacitación sobre acciones a tomar en distintos momentos.
- Informaciones de comunidades con el mismo problema y con soluciones encontradas por ellos mismos.
- Tener información meteorológica con pronósticos a mediano y largo plazo.
- Contar con información sobre como enfrentar las nuevas enfermedades, incluyendo prácticas para evitarlas

Acciones necesarias para enfrentar el Cambio Climático a nivel local

- Campañas de difusión y educación por medios masivos de comunicación apropiados, programas de capacitación en temas relacionados con el Cambio Climático, buscando trabajar en el cambio de valores con los niños y la participación y ejemplo de los adultos.
- Implementación de tecnologías más eficientes para la producción (riego, construcción de reservorios de agua, etc.)
- Mejorar aspectos de organización comunitaria y de grupos de productores, así como la coordinación entre instituciones del estado.
- Contar con estaciones y pronósticos meteorológicos locales y regionales de mediano y largo alcance, incluyendo sistemas adecuados de difusión de los mismos.
- Promover la realización por parte de universidades e instituciones educativas investigaciones de acciones para mitigar y adaptarse a los efectos de los cambios climáticos, así como disponer de un banco de instituciones de referencia para acudir a las mismas.
- Desarrollo tecnológico y adaptación de tecnología a la realidad local dando prioridad al uso de recursos locales. Ej., Zoo cría, Piscicultura.

- Implementar prácticas conocidas para mitigar algunos efectos reconocidos como los fuertes vientos predominantes mediante cortinas rompevientos vegetales.
- Adecuación de la infraestructura, especialmente vial e hidráulica.
- Búsqueda de recursos por parte de las autoridades locales y regionales para implementar acciones y transparencia en la gestión de los mismos.
- Reconocer que el problema es permanente y no temporal, pues no es una moda, y por lo tanto debe ser enfrentado.

BIBLIOGRAFIA

- CENTRO DE ESTUDIOS RURALES INTERDISCIPLINARIOS. 2000. La ecorregión de Ñeembucú: Infortunio, dignidad y sabiduría de sus antiguos pobladores, 206 p.
- CONTRERAS, J.R. 2003. El Valle Aluvial del río Paraguay como "Caja de Resonancia" de la Oscilación Climática "El Niño". Separata de Historia Paraguaya. Anuario de la Academia Paraguaya de la Historia. Volumen XLIII.
- DIARIO NOTICIAS. 2002. Chereta Paraguay. 164 p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. 2004. Atlas de las Comunidades Indígenas en el Paraguay. 567 p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, Última Hora.2001. Atlas estadístico Paraguay 144 p.

GENERACIÓN DE ÓXIDO NÍTRICO EN PLANTAS: EFECTO DEL PARAQUAT Y LA SUPLEMENTACIÓN CON NITRATO

Nitric oxide generation in plant: effects of paraquat and nitrate supplementation.

Galatro, Andrea, Gorojovsky, Natalia, Buet, Agustina y Simontacchi, Marcela

PRALIB-Cátedra de Fisicoquímica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires. Junín 956 (C1113AAD) Ciudad de Buenos Aires
msimon@ffyb.uba.ar

RESUMEN

La presencia de óxidos de nitrógeno en la atmósfera (óxido nitroso N_2O ; óxido nítrico, NO; dióxido de nitrógeno, NO_2) incide en problemas ambientales tales como la formación de *smog*, la lluvia ácida y el efecto invernadero. Las fuentes principales de NO y NO_2 atmosférico son las emisiones de motores de vehículos y los procesos de combustión. A nivel biológico, los microorganismos del suelo y las plantas contribuyen en un 35% a la emisión global de NO.

Aunque aún faltan dilucidar aspectos de la síntesis de NO en el reino vegetal, los cambios ambientales como sequía, exposición a radiación UV y herbicidas pueden afectar la síntesis e incidir sobre las emisiones de NO desde los cultivos hacia la atmósfera.

En este trabajo analizamos posibles fuentes de NO en diferentes sistemas vegetales y el efecto de cambios en el medio de germinación de semillas de sorgo sobre el contenido endógeno de NO en los ejes embrionarios. Se estudió la adición de nitrato y de paraquat (PQ), herbicida frecuentemente empleado para control de malezas, sobre el contenido de NO. Los resultados sugieren que cambios en el ciclo del nitrógeno (por ejemplo por fertilización) y el empleo inadecuado de herbicidas pueden incrementar las emisiones de NO a la atmósfera en tierras cultivadas con un consecuente impacto ambiental.

El conocimiento de las fuentes de generación de NO en plantas y los factores ambientales que puedan afectarla, es fundamental a la hora de desarrollar estrategias destinadas a mitigar las emisiones de NO.

Palabras clave: óxido nítrico, paraquat, EPR.

SUMMARY

The presence of nitric oxide in the atmosphere (nitrous oxide N_2O ; nitric oxide, NO; nitrogen dioxide, NO_2) insides in environmental problems as smog generation, acid rain and greenhouse effect. The main sources of NO y NO_2 in the atmosphere are cars emissions and combustion processes. Microorganisms in soil and plants contribute to global NO emission in 35%. Although some aspects of NO synthesis in plants are not elucidated, environmental changes like dry, UV exposure and herbicide treatments could affect NO emissions form cultivated soils to the atmosphere. In this work, we analyzed possible NO sources in different vegetable systems and evaluated the effect of

changes in the germination medium in the NO content of embryo sorghum axes. We study the addition of nitrite and paraquat (PQ), an herbicide frequently employed to control weeds, in the NO content.

The data suggest that changes in nitrogen cycle (as fertilization) and an inadequate employment of herbicides, could increase NO emissions to the atmosphere in cultivated soils with an environmental impact. Thus, the understanding of NO sources in plants, and the environmental factors that could affect this synthesis are important to develop methods to limit NO emissions.

Key words: nitric oxide, paraquat, EPR.

INTRODUCCIÓN

Por sus efectos sobre la salud y sobre ciertos objetos o materiales, así como por su incidencia en la química atmosférica, los óxidos de nitrógeno ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) se encuentran entre los contaminantes más importantes presentes en el aire. Es conocido que los mayores problemas ambientales que enfrentamos actualmente (*smog* fotoquímico, lluvia ácida, efecto invernadero) están relacionados con la presencia de estas especies (Fang y Mu, 2006). Existen dos reacciones principales por las que el NO, oxidándose, se transforma en NO_2 ; una es con ozono, de la que resultan oxígeno y NO_2 ; la otra es con radicales peróxido, que se producen por efecto de la luz ultravioleta a partir de los hidrocarburos presentes en la atmósfera. La acción de la luz da lugar al efecto inverso: disocia el NO_2 , generando NO y ozono. La remoción del NO_2 durante el día por reacción con radicales hidroxilo, da lugar a la formación de ácido nítrico (HNO_3) que es luego lavado por la lluvia (Aramendia *et al.*, 1996).

Los óxidos de nitrógeno que se encuentran en la atmósfera provienen principalmente de la combustión de fósiles (40%), quema de biomasa (25%) y de fenómenos naturales como los relámpagos. Además los suelos constituyen una fuente importante de NO y se estima que contribuyen en un 20% a la emisión total (Pang *et al.*, 2009). Los procesos que realizan los microorganismos presentes en el suelo, como ser desnitrificación, nitrificación y reducción de nitrato a amonio generan N_2O y NO (Colliver y Stephenson, 2000).

La aplicación de fertilizantes y el cultivo de las tierras incrementa la emisión de NO por parte del suelo. La emisión total global de NO proveniente de los suelos se estima que está en un rango de 4 a 21 Tg N por año (Davidson y Kinglerlee, 1977). Si bien existe una gran incertidumbre en cuanto a las emisiones de NO, al efecto del canopeo en el intercambio de óxidos de nitrógeno entre la biosfera y la atmósfera y al impacto de las prácticas de mejoramiento, las tierras cultivadas representan una emisión de NO que no puede ser desestimada.

Además de su importancia en la química atmosférica el NO cumple importantes funciones en procesos bioquímicos tanto en animales como en vegetales. Las plantas sintetizan NO principalmente a través de dos vías, una reductiva empleando nitrito y una oxidativa que involucra a la arginina. La síntesis de NO en plantas es fuertemente dependiente de estímulos ambientales y también del estado fisiológico o del desarrollo. Debido a su naturaleza gaseosa, tanto el NO generado en el suelo como el que se sintetiza en las plantas es intercambiado con la atmósfera (Fig. 1).

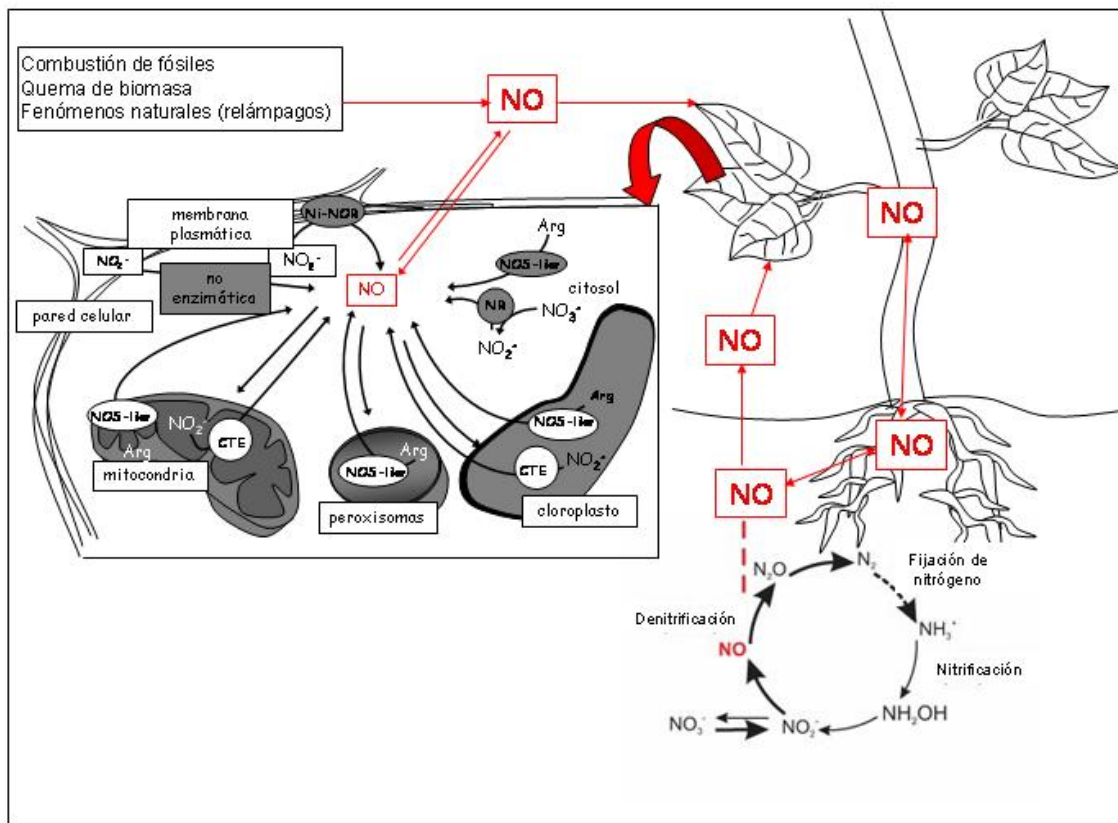


Figura 1. Ciclo del NO en la atmósfera, suelos y plantas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar posibles fuentes de generación de NO en distintos sistemas vegetales y el efecto de modificaciones en el contenido endógeno de NO debido a la disponibilidad de nitratos como fuente de nitrógeno y a la presencia del herbicida paraquat. Dado que en gran medida el NO presente en la atmósfera proviene del intercambio o la liberación del NO sintetizado en forma endógena por diferentes cultivos, el conocimiento tanto de las fuentes de generación de NO en distintas especies, como de los factores ambientales que puedan afectarla, resulta fundamental a la hora de desarrollar estrategias destinadas a controlar las emisiones de NO por suelos cultivados.

MATERIALES y MÉTODOS

Material Biológico

Semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*) se incubaron en oscuridad, en estufa a 26°, en solución de Steinberg con o sin suplementación con KNO₃ (5-20 mM) o paraquat (PQ) (4 mM). Los ejes se extrajeron de las semillas a las 24 horas de incubación y se realizaron los homogeneizados correspondientes.

Semillas de soja (*Glycine max*, ADM 4800), germinaron en agua corriente y oscuridad a 26°C durante 48 h. Luego fueron transferidas a macetas con tierra donde crecieron durante 12 días con ciclos de 16 horas de luz, en una cámara en la cual recibieron 300 μmol m⁻² s⁻¹ PAR (Philips 40-W day-light-fluorescent light), a temperatura 26-28°C.

El aislamiento de cloroplastos se realizó a partir de hojas de plantas de soja de 10 días de desarrollo, empleando centrifugación diferencial en gradientes de Percoll (Jasid *et al.*, 2006).

Detección de óxido nítrico (NO) por resonancia paramagnética electrónica (EPR)

Los tejidos vegetales fueron homogenizados en solución de *spin trap* N-metil-D-glucamina ditiocarbamato de sodio (MGD) (10 mM MGD; 1 mM FeSO₄) y transferidos a una pipeta Pasteur para las medidas de EPR. Los espectros de EPR fueron obtenidos a temperatura ambiente en un espectrómetro Bruker ECS 106 (Karlsruhe, Germany) con una cavidad ER 4102ST, operando a 9,75 GHz. Los parámetros de medición incluyeron 20.48 ms constante de tiempo, 3400 G centro de campo, 5.983 G amplitud de modulación, 50 kHz frecuencia de modulación y 20 mW potencia de microonda (Komarov y Lai, 1995).

Velocidad de generación de NO

Ejes embrionarios de sorgo de 24 h (1 g PF/ml buffer) y hojas de soja de 10 días (200 mg/ml buffer) se homogeneizaron en buffer fosfato de potasio 100 mM (pH 7.4). Para la medición de la generación de NO dependiente de nitrito las muestras fueron suplementadas con la solución de *spin trap* (MGD-Fe) (10 mM MGD; 1 mM FeSO₄), NADH 0,1 mM y nitrito de sodio 1 mM. La generación de NO dependiente de arginina (NOS-like) fue determinada suplementando los homogeneizados con CaCl₂ 1 mM, MgCl₂ 5 mM, NADPH 0,1 mM, L-arginina 1 mM y la solución de *spin trap* (10 mM MGD; 1 mM FeSO₄). En los experimentos de inhibición las muestras fueron preincubadas con análogos de L-arginina. La cinética de generación de NO se evaluó por EPR a temperatura ambiente empleando los parámetros anteriormente descriptos.

RESULTADOS

Detección de NO

La resonancia paramagnética electrónica (EPR) es considerada una de las técnicas más poderosas para la detección e identificación de radicales libres en sistemas biológicos. En el caso particular del NO, esta metodología permite su detección inequívoca sin interferencia de otras especies. En este trabajo se utilizó MGD en presencia de Fe²⁺, el complejo hidrosoluble formado (Fe²⁺-MGD₂) presenta gran afinidad por el NO y fue utilizado como atrapador de espín a fin de realizar la detección de NO a temperatura ambiente en los sistemas vegetales.

Producción de NO

Se evaluó la velocidad de generación de NO por diferentes especies (sorgo y soja), analizándose la contribución de diferentes vías de síntesis. Los estudios se realizaron empleando homogeneizados de ejes embrionarios de sorgo, homogeneizados de hojas de soja y cloroplastos aislados de hojas de soja (Fig. 2). Las muestras se incubaron en presencia de los sustratos necesarios para la síntesis de NO a través de las vías propuestas para la producción endógena en plantas (Simontacchi *et al.*, 2006). Para analizar la contribución de actividades enzimáticas de óxido nítrico sintasa (NOS-like) dependiente de arginina, los preparados biológicos fueron adicionados con la solución

de *spin trap*, e incubados en presencia de NADPH y arginina durante 10 min. La señal de EPR del aducto (MGD)₂-Fe²⁺-NO, caracterizada por un triplete isotrópico característico a $g= 2.03$ y $a_N= 12.5$ G (Fig 2, inserto), permitió la cuantificación del NO generado a través de la integración de la señal y la comparación con un estándar (TEMPOL). Se realizaron controles preincubando las muestras en presencia de inhibidores de NOS de mamíferos (nitroarginina y nitroarginina metil ester), lo cual resultó en una inhibición de la producción de NO.

La contribución de la enzima nitrato reductasa se evaluó a partir de la incubación de las muestras en presencia de NaNO₂ y NADH, y esta actividad resultó inhibida cuando los ensayos se realizaron en presencia de azida sódica, un inhibidor de la enzima nitrato reductasa (Yamasaki y Sakijama, 2000). En todos los casos la desnaturalización de las muestras por acción del calor condujo a una inhibición total en la síntesis de NO, indicando la dependencia con actividades enzimáticas.

Se estudió la síntesis de NO a nivel subcelular. Para ello se aislaron cloroplastos de hoja de soja y se analizó la producción de NO dependiente de la presencia de NO₂⁻ (Fig. 2). Esta síntesis resultó parcialmente inhibida en presencia del herbicida DCMU (diuron) (Jasid *et al.*, 2006) demostrando que se encuentra asociada a la membrana tilacoidal. Los cloroplastos aislados presentaron además una actividad de generación de NO dependiente de arginina (Fig. 2).

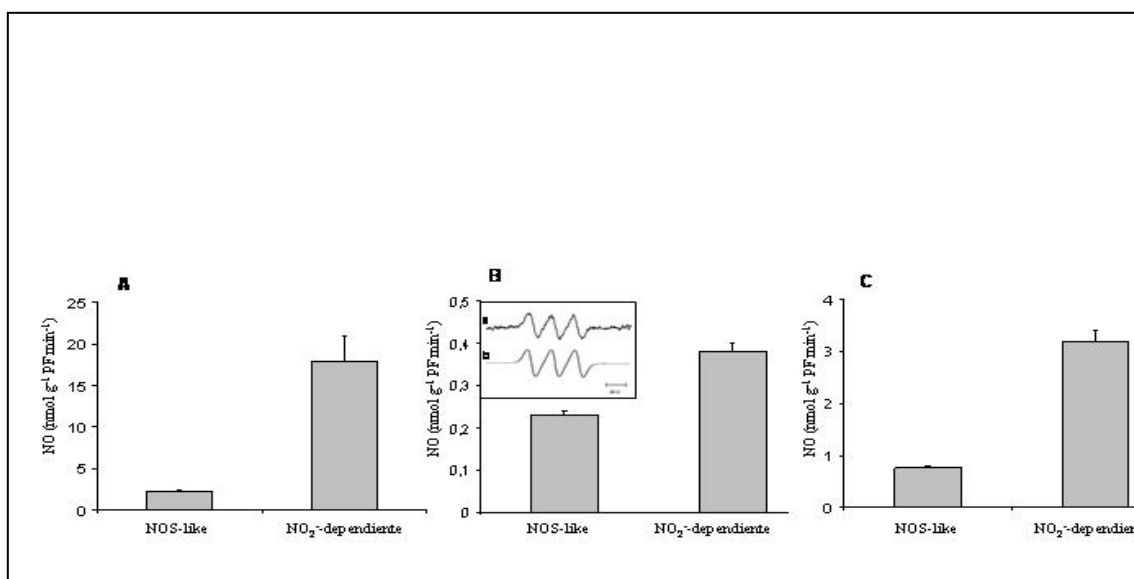


Figura 2. Generación de NO por los vegetales utilizados.

Contenido de NO

Dado que las plantas son capaces de producir NO en forma endógena, en presencia de los sustratos adecuados, se evaluó si en los distintos tejidos esa producción *in planta* alcanza niveles de estado estacionario de NO adecuados para ser detectados por la metodología empleada. Con este fin se emplearon semillas de sorgo incubadas durante tiempos variables en condiciones adecuadas para su germinación. El contenido endógeno de NO en los ejes embrionarios de sorgo resultó dependiente del tiempo de imbibición de las semillas presentando un máximo entre las 24 y 30 h (2.5 ± 0.6 nmol/gPF) (Simontacchi *et al.*, 2004). En estas condiciones experimentales se analizó la

influencia de factores externos ambientales sobre el contenido de NO endógeno en los ejes embrionarios de sorgo. Las condiciones estudiadas fueron la suplementación con nitrato (KNO_3) y con el herbicida paraquat (PQ), en el medio de incubación de las semillas. Los resultados obtenidos indican que el contenido de NO en ejes controles a las 24 horas se incrementó cuando las semillas germinaron en concentraciones crecientes de NO_3^- , como así también por la presencia de PQ (Fig. 3).

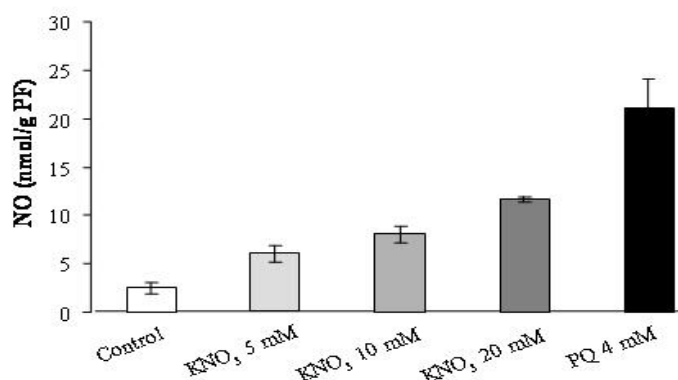


Figura 3. Generación de NO bajo la influencia de factores externos.

DISCUSIÓN

La detección de NO en organismos vivos constituye un desafío, ya que se trata de un importante efector biológico involucrado en numerosas funciones de gran importancia, que se encuentra en concentraciones relativamente bajas y, por su naturaleza química, presenta una gran tendencia a reaccionar. Las reacciones químicas de mayor importancia en sistemas biológicos son la reacción con moléculas que contienen hierro y la reacción con anión superóxido (O_2^-). En el caso particular de las plantas el estudio de la síntesis de NO constituye un aspecto importante ya que existe un intercambio activo entre el NO producido por las plantas y el ambiente que las rodea.

El empleo de EPR con *spin trapping* permitió evaluar tanto la velocidad de generación de NO en condiciones de máxima disponibilidad de sustratos como el nivel de NO en estado estacionario en diferentes especies vegetales.

La integración de las señales de EPR permitió calcular las concentraciones de NO obtenidas en cada caso, las cuales se encontraron en el rango de las estimadas por otros autores quienes informaron una producción de NO por NOS equivalente a $1.8 \text{ nmol g}^{-1} \text{ PF h}^{-1}$ en hojas de tabaco infectadas por bacterias y una producción de NO dependiente de la enzima NR *in vivo* entre $2\text{-}200 \text{ nmol g}^{-1} \text{ PF h}^{-1}$ (Rockel *et al.*, 2002).

Los datos presentados en este trabajo demostraron que en hojas de soja el NO puede ser producido tanto como un producto de la asimilación de nitrógeno, implicando un

camino dependiente de nitrito que podría involucrar la actividad de la enzima NR y el transporte de electrones en los cloroplastos, como también a través de un camino dependiente de arginina, que involucra una posible actividad NOS-like. Por otra parte, la ausencia de la señal de EPR observada en los homogeneizados previa inactivación de las actividades enzimáticas por calor, confirma la ausencia de una producción de NO no enzimática (por ejemplo mediante la reducción de nitrito en presencia de ascorbato) a pH fisiológico bajo las condiciones experimentales desarrolladas en este estudio.

Durante la germinación los ejes embrionarios de sorgo son capaces de sintetizar NO por vías dependientes de nitrito y de arginina. En ejes embrionarios de sorgo los resultados permiten evidenciar que el NO es un metabolito endógeno producido durante la germinación de las semillas, siendo su concentración en los ejes embrionarios dependiente del tiempo de imbibición de las mismas, de una mayor disponibilidad de nitrato y de la presencia del herbicida paraquat.

Los resultados sugieren que cambios en el ciclo del nitrógeno (por ejemplo por fertilización) y el empleo inadecuado de herbicidas pueden incrementar las emisiones de NO a la atmósfera en tierras cultivadas con un consecuente impacto ambiental. Por lo tanto el conocimiento de las fuentes de generación de NO en plantas y los factores ambientales que puedan afectarla, es fundamental a la hora de desarrollar estrategias destinadas a mitigar las emisiones de NO por cultivos de interés agropecuario.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por subsidios de la Universidad de Buenos Aires y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

BIBLIOGRAFÍA

- ARAMENDIA, PF; R FERNANDEZ PRINI Y G GORDILLO. 1996. ¿Buenos Aires en Buenos Aires? *Ciencia Hoy* (<http://www.cienciahoy.org.ar/hoy31/BuenosAires01.htm>)
- DAVIDSON, E.A. Y KINGERLEE, W. 1997. A global inventory of nitric oxide emissions from soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 48:37–50.
- COLLIVER, B.B. AND STEPHENSON, T. 2000. Production of nitrogen oxide and dinitrogen oxide by autotrophic nitrifiers. *Biotechnol Adv* 18:219–32.
- CONRAD, R. 1995. Soil microbial processes involved in production and consumption of atmospheric trace gases. *Adv Microb Ecol* 14:207–50
- FANG, S. AND MU, Y. 2006. Air/surface exchange of nitric oxide between two typical vegetable lands and the atmosphere in the Yangtze Delta, China. *Atmospheric Environ* 40:6329–6337.
- JASID, S.; SIMONTACCHI, M.; BÁRTOLI, C.G. AND PUNTARULO, S. 2006. Chloroplasts as a nitric oxide cellular source. Effect of reactive nitrogen species on chloroplastic lipids and proteins. *Plant Physiol* 142: 1246-1255.
- KOMAROV, A.M. AND LAI, C.S. 1995. Detection of nitric oxide production in mice by spin-trapping electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Biochim Biophys Acta* 1272: 29-36.
- PANG, X.; MUB, Y.; LEE, X.; FANG, S.; YUAN, J. AND HUANG, D. 2009. Nitric oxides and nitrous oxide fluxes from typical vegetables cropland in China: Effects

- of canopy, soil properties and field management. *Atmospheric Environ* 43: 2571–2578.
- ROCKEL, P; STRUBE, F.; ROCKEL, A.; WILDT, J. AND KAISER, W.M. 2002. Regulation of nitric oxide (NO) production by plant nitrate reductase *in vivo* and *in vitro*. *J Exp Bot* 53:103-110.
- SIMONTACCHI, M.; JASID, S. AND PUNTARULO, S. 2004. Nitric oxide generation during early germination of Sorghum seeds. *Plant Sci* 167(4):839-847.
- SIMONTACCHI, M; JASID, S. AND PUNTARULO, S. 2007. Nitric Oxide in Plant Growth, Development and Stress Physiology. Book Series: Plant Cell Monographs, L Lamattina y JC Polacco eds. Springer, Vol 6.
- YAMASAKI, H. and SAKIJAMA. 2000. Nitrite-dependent nitric oxide production pathway: implications for involvement of active nitrogen species in photoinhibition *in vivo*. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 355:1477-1488.

LA BIODIVERSIDAD DE PECES DEL RÍO DE LA PLATA Y SU RELACIÓN CON LOS CAMBIOS AMBIENTALES EN LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS.

Biodiversity of fish in the Río de la Plata and its relation to environmental changes in the last 40 years.

Alejandra V. Volpedo*^{1,3}; Andrea D. Tombari² y Alicia Fernández Cirelli^{1,3}

¹Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Av. Chorroarín 280, CP1427 Buenos Aires, Argentina. ²Depto de Biodiversidad y Biología Experimental (FCEN-UBA). ³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

*avolpedo@fvet.uba.ar

RESUMEN

El Río de la Plata es uno de los ambientes fluvio-marítimos más estudiados del mundo en sus características fisicoquímicas, geomorfológicas, climáticas y bioecológicas. En las últimas décadas se han observado cambios en las precipitaciones, la temperatura y la calidad del agua, y debido a que la biota es un componente ecosistémico estrechamente relacionado con los factores abióticos, los cambios en las condiciones ambientales podrían reflejarse en la biota.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar los cambios en la biodiversidad de peces en las últimas cuatro décadas en el Río de la Plata.

Los resultados evidencian que la composición de la ictiofauna del Río de la Plata desde 1960 al presente ha variado, principalmente en la cantidad de especies dulceacuícolas. Esta variación se evidencia significativamente a partir de los años 80; en la década del 60 había 101 especies de teleósteos dulceacuícolas y en los últimos 15 años esta cantidad se incrementó en más del 50%. En relación a los peces marinos la cantidad de especies presentes en la década del 60 se mantuvo casi constante. Las nuevas especies de peces dulceacuícolas registradas en los últimos 15 años en el Río de la Plata se encontraron presentes en aguas templado-calidas de la región norte de Argentina (Ríos Bermejo, Paraguay, Paraná, los humedales de Iberá) y en los países limítrofes como Paraguay y Brasil. Este desplazamiento hacia el sur de estas especies oriundas de la región tropical y subtropical, probablemente se deba a que las condiciones ambientales del Río de la Plata les fueran favorables, por lo que se han establecido en este cuerpo de agua a partir de las dos últimas décadas. Considerando las tendencias climáticas e hidrológicas de los escenarios de cambio climático para el Río de la Plata es de esperar que siga aumentando el número de peces dulceacuícolas de las cuencas altas extendiendo su distribución hacia el sur y que se establezcan nuevas relaciones ecológicas y tróficas entre las especies debido a cambios en las comunidades.

Palabras clave: biodiversidad de peces, Río de la Plata, cambios ambientales

SUMMARY

Río de la Plata is the maritime fluvial environment more thoroughly studied in the world in regards to its physicochemical, geomorphologic, climatic and bioecological features. However, in recent decades, this environment has changed in different aspects as

precipitation, temperature and water quality. In this context, the aim of the present paper is to analyze the changes in fish diversity occurred in the last four decades at Río de la Plata.

The results obtained show that fish composition at Río de la Plata from 1960 to present time has varied, mainly in relation to richness of freshwater species. This variation is evident significantly since the 80's. In the 60's, there were 101 freshwater fish species and 15 years this number has increased by more than 50 %. In relation to marine fish species, the number found in the 60's remained nearly constant. The new species of fish found in the last 15 years in Río de la Plata were also present in warmer waters of Northern Argentina (Bermejo, Paraguay, Paraná Rivers) in Iberá wetlands and in border countries such as Paraguay and Brazil. This displacement of tropical and subtropical fish species possible since the environmental conditions of Río de la Plata are adequate. Taking into account the possible Río de la Plata climatic change scenarios, it may be expected that the number of freshwater fish of high basins towards the South, establishing new ecological and trophic relations among species due to changes in their communities.

Key words: fish biodiversity, Río de la Plata, environmental changes

INTRODUCCIÓN

El Río de la Plata es uno de los ambientes fluvio-marítimos más estudiado del mundo en sus características fisicoquímicas, geomorfológicas, climáticas y bioecológicas (Nagy *et al.*, 1998, Vizziano *et al.*, 2002; Acha *et al.*, 2003; Penchaszadeh, 2005; Barros *et al.*, 2005; Volpedo y Brazeiro, 2005). Este ambiente depende por un lado de la dinámica entre el flujo del agua proveniente de la Cuenca del Plata (la cuarta más grande del mundo), y por otro de los vientos, las mareas y las corrientes del Atlántico Sudoccidental. El flujo promedio de agua en el sistema es de 24.000 m³/s suficiente para mantener una parte considerable del sistema con agua dulce permanentemente. Sin embargo, este flujo es muy variable; éste parece aumentar aguas abajo de los ríos más grandes (Paraná y Uruguay) desde los años 70 pero sufre enormes variaciones, especialmente durante los años del 'ENOS' (El Niño Oscilación del Sur) cuando puede alcanzar más de 60.000 m³/s. La dificultad para predecir las condiciones en el sistema se complica aún más con la variabilidad en las zonas costeras y con los escenarios de cambio climático previstos para este ambiente. En las últimas décadas se han observado cambios en sus aspectos ambientales como aumento de las precipitaciones, de la temperatura, del nivel del mar, modificaciones en la calidad del agua, entre otros (Barros *et al.*, 2005).

En el aspecto bioecológico, el Río de la Plata posee diversos ambientes relacionados con las diferentes condiciones ambientales, especialmente con la salinidad, producto de la interrelación entre las aguas marinas y dulces. Estos ambientes han propiciado la presencia de diversidad íctica de especies marinas, eurihalinas y dulceacuícolas (Menni, 2004; Jaureguizar *et al.*, 2006; Jaureguizar y Milessi, 2008).

En este contexto y considerando que la diversidad de peces está estrechamente asociada al ambiente, se analizó la presencia de nuevas especies ícticas, en relación a las modificaciones ambientales, en las últimas cuatro décadas en el Río de la Plata.

MATERIALES y MÉTODOS

Se estudió la presencia de especies de peces desde los años sesenta al presente, en base a la información publicada (Ringuelet *et al.*, 1967; Almirón *et al.*, 2000; López *et al.*, 2002; 2003; Menni, 2004 y Liotta, 2006) e información propia en el Río de la Plata.

Se analizó la presencia/ausencia de las especies en cada década, elaborándose una matriz binaria. Debido a que en este tipo de matriz se reúne la información relacionada con la presencia o ausencia de especies nativas, no se detallan los métodos de captura utilizados por los autores, ni el esfuerzo de captura.

Las tendencias climáticas e hidrológicas en el Río de la Plata para los escenarios futuros se basa en las propuestas de Barros *et al.*, (2005).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que la riqueza de especies ícticas del Río de la Plata desde 1960 al presente han aumentado debido, principalmente, a la cantidad de especies dulceacuícolas (Tabla 1).

Tabla 1. Variación del número total de especies ícticas dulceacuícolas y marinas en cada década.

| | 1960-1969 | 1970-1979 | 1980-1989 | 1990-1999 | 2000-2009 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Peces Marinos | 16 | 15 | 18 | 13 | 12 |
| Peces Dulceacuícolas | 101 | 115 | 114 | 135 | 159 |
| Total de Especies | 117 | 130 | 132 | 148 | 174 |

Esta variación se evidencia significativamente a partir de los años '90; en la década del '60 había 101 especies de teleósteos dulceacuícolas y en los últimos 15 años esta cantidad se incrementó en más del 50%. En relación a los peces marinos la cantidad de especies presentes en la década del 60 se mantuvo relativamente constante. De las especies presentes en el Río de la Plata en la actualidad, 48 son especies permanentes y 22 visitantes (Nion, 1998).

Las nuevas especies de peces dulceacuícolas registradas en los últimos 15 años en el Río de la Plata se encontraban presentes en aguas templado-cálidas de la región norte de Argentina (Ríos Bermejo, Paraguay, Paraná, en el humedal de Iberá) y en los países limítrofes como Paraguay y Brasil. Como ejemplo de las nuevas especies de peces dulceacuícolas registradas en los últimos 15 años en el Río de la Plata se pueden mencionar a:

- *Abramites hypselonotus* típica especie del Pantanal (Brasil) y del Noreste Argentino (López *et al.*, 2005), fue encontrada en el Río de la Plata por primera vez en 1993 por Braga.
- *Gymnogeophagus gymnogenys* que pertenece a la región del sur de Brasil (Ribeiro y Köhler, 2007), apareció en el Río de la Plata en 1999 (Nion, 1998).
- *Cyphocharax spilotus* que es de los Esteros del Iberá y de Brasil, (Casciotta *et al.*, 2005), fue encontrada por Nion (1998) en el Río de la Plata.

El desplazamiento de las especies oriundas de la región tropical y subtropical hacia el sur, ha utilizado como vía de movilización los grandes ríos de la Cuenca del Plata

(Sistema Paraguay-Paraná y el Río Uruguay) que son vías de conexión entre las regiones de latitudes bajas con las de latitudes más altas. Este desplazamiento de fauna, por estos corredores biológicos, es histórico, por ello en la bibliografía aparece ocasionalmente la presencia de especies del Pantanal o de la Amazonia (Gómez, 2008; Gómez *et al.*, 2008). Sin embargo, a partir de las dos últimas décadas, estas apariciones ocasionales han incrementado su frecuencia y en algunos casos las especies se han registrado de manera frecuente, esto puede deberse a que las condiciones ambientales del Río de la Plata les son favorables para establecerse en este cuerpo de agua.

Considerando las tendencias climáticas e hidrológicas de los escenarios de cambio climático para el Río de la Plata propuestas por Barros *et al.* (2005), es de esperar que siga aumentando el número de peces dulceacuícolas de las cuencas altas, extendiendo su distribución hacia el sur, y que se establezcan nuevas relaciones ecológicas y tróficas entre las especies debido a cambios en las comunidades.

Los grupos taxonómicos de Characiformes y Siluriformes son los peces óseos que más especies nuevas presentaron en las últimas décadas en el Río de la Plata (Tabla 2). Esto se debe no solo a la alta riqueza específica de estos grupos en Sudamérica, sino también a los esfuerzos que se han realizado en el campo de la ictiología en la región, pudiéndose acceder a áreas remotas para recolectar ejemplares.

Tabla 2. Variación temporal del número de especies de cada orden.

| Ordenes de Peces | 1960-1969 | 1970-1979 | 1980-1989 | 1990-1999 | 2000-2009 |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Clupeiformes | 7 | 6 | 7 | 4 | 7 |
| Cypriniformes | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| Characiformes | 38 | 42 | 40 | 59 | 65 |
| Siluriformes | 49 | 58 | 55 | 58 | 67 |
| Gymnotiformes | 4 | 4 | 5 | 8 | 6 |
| Mugiliformes | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Atheriniformes | 0 | 0 | 2 | 2 | 4 |
| Cyprinodontiformes | 6 | 6 | 8 | 4 | 8 |
| Synbranchiformes | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Perciformes | 5 | 9 | 11 | 9 | 12 |
| Pleuronectiformes | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Total | 117 | 130 | 132 | 148 | 174 |

El Río de la Plata recibe no sólo las aguas de las cuencas altas de los ríos Paraná-Paraguay y Uruguay si no que también reúne parte de la fauna que habita en estos cuerpos de agua. La presencia de forma permanente o muy frecuente de las especies procedentes de las cuencas altas, podría generar cambios ecológicos importantes en las comunidades de peces del Río de la Plata. Estos cambios no sólo influenciarían modificaciones a nivel de biodiversidad sino también en las pesquerías, ya que las tramas tróficas a las que pertenecen las especies de importancia comercial están estrechamente articuladas con las de estas nuevas especies, por lo que muchas poblaciones podrían modificar sus parámetros poblacionales en respuestas a estos nuevos cambios. Este cambio en la dinámica poblacional de las especies comerciales podría conllevar a la disminución de larvas y reclutas, por interacciones tróficas; a las modificaciones en los hábitats costeros y al aumento de la mortalidad. Es por eso que

estudiar los efectos de los cambios globales sobre las pesquerías, en los nuevos escenarios de cambio climático, para el Río de la Plata es una prioridad de la región.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Buenos Aires (UBACyT X 504) y al CONICET por el apoyo financiero.

BIBLIOGRAFIA

- ACHA, E.M.; MIANZAN, H.W.; IRIBARNE, O.; GAGLIARDINI, D.A.; LASTA, C. y DALEO, P., 2003. The role of the Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris. *Mar. Poll. Bull.* 46 (2):197-202.
- ALMIRÓN, A.E.; GARCIA, M.L.; MENNI, R.C.; PROTOGINO, L. y SOLARI, L., 2000. Fish ecology of a seasonal lowland stream in temperate South America. *Mar. Fresh. Res.* 51 (3):265-274.
- BARROS, A.; MENEDEZ, A. y NAGY, G., 2005. El Cambio climático en el Río de la Plata. Proyecto "assessments of Impacts and Adaptations to climate change (START-TWAS-UNEP). 200 pp
- CASCIOTTA, J.R.; ALMIRÓN A.E. y BECHARA, J., 2005. Peces del Iberá. Hábitat y diversidad. UNDP, Fundación Ecos, UNLP, UNNE, La Plata
- GÓMEZ, S.E.; GONZALEZ NAYA, M.J. y ARRIBAS, L.P., 2008. Cambio ambiental en América Austral: pasado, presente y perspectivas futuras. En: "Efecto de los cambios globales sobre biodiversidad". Red 406RT0285 "Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica", Programa CYTED. Eds. L. Fernández Reyes y A. V. Volpedo. CYTED - Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo: Buenos Aires: 47-58.
- GÓMEZ, S.E., 2008. Notas sobre el cambio ambiental en ictiología. *Biología Acuática* 24: 1-6.
- JAUREGUIZAR, A.; MENNI, R.C.; LASTA, C. y GUERRERO, R., 2006. Fish assemblages of the Northern Argentine Coastal System: spatial patterns and their temporal variations. *Fish. Oceanogr.* 15: 326-344
- JAUREGUIZAR, A.J. y MILESSI A.C., 2008. Assessing the sources of the fishing down marine food web process in the Argentinean-Uruguayan Common Fishing Zone. *Sci. Mar.*, 72 (1):doi:10.3989/scimar.2008.72n125
- LIOTTA J., 2006. Distribución geográfica de los peces de aguas continentales de la República Argentina. *ProBiota - Serie Documentos*, 3, 701 pp. La Plata, Argentina.
- LÓPEZ, H.; MENNI, R.C. y MIQUELARENA A., 2003. Lista Crítica comentada de los peces del Río de la Plata. Capítulo II. Informe FREPLATA1-73 pp.
- LÓPEZ, H.L.; MORGAN, C.C. y MONTENEGRO, M.J., 2002. Ichthyological Ecoregions of Argentina. *ProBiota, Serie Documentos* 1, 70 pp.
- LÓPEZ, H.; A.M. MIQUELARENA y PONTE GÓMEZ, J., 2005. Biodiversidad y Distribución de la Ictiofauna Mesopotámica. Temas de la Biodiversidad del Litoral fluvial argentino II INSUGEO, Miscelánea, 14: 311 – 354
- MENNI, R.C., 2004. Peces y ambientes en la Argentina continental. Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales 5, Buenos Aires, 316 pp.
- NAGY, G.J.; MARTINEZ, C.M.; CAFFERA, R.M.; PEDROSA, G.; FORBES, E.A; PERDOMO, A.C. y LABORD, J.L., 1998. Marco hidrológico y climático del Río de la Plata. En: P.G. Wells & G.R. Daborn. Eds. El Río de la Plata. Una Revisión

- Ambiental. Un informe de Antecedentes del Proyecto EcoPlata. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canadá. 17-72 pp
- Nion, H., 1998. Peces del Río de la Plata y algunos aspectos de su ecología. Capítulo 6, pp. 169-190. En: Wells, P.G. y G.R. Daborn (Eds.), El Río de la Plata. Una revisión ambiental. University of Dalhousie, Canadá.
- PENCHASZADEH, P.E., (ed). 2005. Invasores. Invertebrados exóticos en el Río de la Plata y Región Marina Aledaña. EUDEBA, Buenos Aires.
- RIBEIRO, F.M. y KÖHLER A., 2007. Ichthyofauna of Pardinho River, in Rio Grande do Sul State, Brazil. Caderno de Pesquisa série Biologia. Universidade de Santa Cruz Sul 19 (2): 37-45
- RINGUELET, R.A.; ARÁMBURU, R.H. y DE ARÁMBURU A.A., 1967. Los peces argentinos de agua dulce. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, 602 pp.
- VIZZIANO, D.; PUIG, P.; MESONES, C. y NAGY, G.J., 2002. El Río de la Plata. Investigación para la gestión del Ambiente, los recursos pesqueros y las pesquerías en el frente salino. Porraza EcoPlata, Motevideo Uruguay, 311.
- VOLPEDO, A.V. y BRAZEIRO, A., (Coords). 2005. Estrategia Argentina de Biodiversidad para el Río de la Plata y su Frente Marítimo, Proyecto FREPLATA. PNUD-GEF, Buenos Aires, 15 de septiembre. [http:// www.freplata.org](http://www.freplata.org)

GENOTOXICIDAD *IN VIVO* Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL: ¿CONOCEMOS LO QUE USAMOS?

*In vivo genotoxicity and environmental contamination:
Do we know what we are using?*

Alicia Leonor Basso

Cátedra de Genética, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av.
San Martín 4453. (1417) C.A.B.A., Rca. Argentina

* abasso@agro.uba.ar

RESUMEN

El clorpirifós y la cipermetrina son insecticidas de amplio espectro utilizados en la agricultura de manera extensiva, como parte del paquete tecnológico. A nivel mundial, las preocupaciones acerca de la relativa seguridad para el ambiente son cada vez mayores. El presente trabajo reporta la utilización de esta mezcla de insecticidas, prohibida por la OMS y recientemente por la Res.456/09-MS, Rca. Argentina, y los efectos encontrados sobre la Mosca Sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus*, plaga cuarentenaria de la citricultura argentina. Se recolectaron frutos de guayabos linderos a un lote de maíz. El maíz había recibido cuatro tratamientos con clorpirifós 0,6% + cipermetrina 0,0625%. Los frutos se mantuvieron aislados en frascos bajo condiciones controladas (23°C y 60%HR) y se revisaron diariamente para diagnosticar la presencia del insecto durante su desarrollo. Los resultados evidenciaron absoluta letalidad en los materiales, encontrándose gran número de larvas necrosadas. Sobre un total de 226 pupas recuperadas, sólo el 8,85% llegó a la ecdisis. Los adultos emergidos expresaron mutaciones para caracteres morfológicos (i.e. ovipositor, alas y color de ojos) y de historia de vida. Éstas afectaron la cópula, la fecundidad, el comportamiento de ovipuesta (bajo número de huevos) y el tiempo de desarrollo (amplio intervalo imago-primera ovipuesta). La segunda generación de insectos no dejó descendencia. La genotoxicidad (capacidad de daño) de la mezcla insecticida excede el cultivo blanco y es documentada en detalle. ¿Cómo detenemos la negligencia que arriesga la sustentabilidad de los recursos naturales del planeta y de la vida, la salud y el bienestar humano?

Palabras clave: contaminación ambiental, genotoxicidad, educación ambiental, agroquímicos, sanidad vegetal, control de plagas.

SUMMARY

Both Chlorpyrifos and Cypermethrin are broad-spectrum insecticides widely use in agriculture, as a part of the technological burst. The relative environmental security is a cause of continuous and increasing worldwide concern. The present work reports on the use of this insecticide mixture, which was forbidden by the World Health Organization and recently in Argentina through Res.456/09-MS, and the effects found on the South American fruit fly *Anastrepha fraterculus*, a quarantine pest for Argentinean Citrus production. During a sampling we collected guava fruits proximate to a maize lot. Four treatments with chlorpyrifos 0,6% + cypermethrin 0,0625% were applied to maize plants. The collected fruits were isolated in glass jars and kept under environmental controlled conditions (23°C and 60%RH) for several days. They were checked daily in

order to detect the presence of the insect during its development. Our results show lethality in the materials, a great number of necrotized larvae. From a total of 226 pupae recovered, only 8,85% completed ecdysis. Adults expressed mutations for morphological characters (i.e. ovipositor, wings and eye colour) and for life history traits. These affected mating, fecundity, the ovipositional behaviour (low number of eggs) and developmental time (wide interval between imago-first oviposition). The second generation of insects, emerged under laboratory conditions, did not leave any offspring. Genotoxicity (ability of damage) of the insecticide mixture exceeds de target crop and is documented in this report. How we stop the negligence which is risking the natural resources of the planet as well as the human health and welfare?

Key words: environmental contamination, genotoxicity, environmental education, agrochemicals, plant health, pest control.

INTRODUCCIÓN

La genética toxicológica tiene por objeto estudiar las mutaciones inducidas por agentes químicos, físicos y biológicos, identificar estos agentes y analizar sus interacciones y mecanismos de acción. Algo destacable es que hace foco en niveles de exposición no tóxicos, los cuales no causan efectos inmediatos fácilmente identificables, pero dañan el ADN (Castro *et al.*, 2004).

Los agroquímicos genotóxicos son agentes que interaccionan con el ADN, causando daño al material genético a dosis sub-tóxicas (Cuenca y Ramírez, 2004). La genotoxicidad es la capacidad de generar daño en el ADN. El daño se traduce en mutaciones deletéreas que pueden afectar oncogenes o sistemas de reparación del ADN, siendo entonces cancerígenas (Ramírez y Cuenca, 2002). La mayoría de las mutaciones son deletéreas, pero la evolución es posible porque algunas de ellas no lo son. Las mutaciones pueden transmitirse a la descendencia con alto riesgo de que los individuos que las heredan padezcan cáncer, desarrollen inestabilidad genómica, envejecimiento celular, necrosis (Cuenca y Ramírez, 2004).

El clorpirifós y la cipermetrina son insecticidas de amplio espectro utilizados en la agricultura de manera extensiva, como parte del paquete tecnológico. A nivel mundial, las preocupaciones acerca de la relativa seguridad para el ambiente son cada vez mayores.

El propósito original de este trabajo fue el estudio de una población natural de la mosca Sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus*, para análisis de variabilidad genética y aislamiento de mutantes. A los efectos de estudiar la variabilidad genética natural, es esencial realizar los muestreos sobre materiales que no hayan sido expuestos a agentes mutagénicos como compuestos químicos. Debido a que *A. fraterculus* tiene preferencia por los frutos de guayabo *Psidium guajava* (Mirtaceae), realizamos un muestreo sobre arbustos de guayaba ubicados en la Facultad de Agronomía de la UBA. La elección estuvo basada en el hecho de que estos arbustos no son fumigados debido a que no son de importancia comercial en nuestro país. Sin embargo, ese supuesto fue alterado accidentalmente y, en consecuencia, el objetivo original se transformó en el presente trabajo.

Esta presentación reporta los efectos de una mezcla de insecticidas, prohibida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y por la Organización Mundial para la Salud (OMS, 2003), sobre la Mosca Sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus*, plaga cuarentenaria de la citricultura argentina.

Acerca del Clorpirifós. Esta sustancia causa daño genético *in vivo* e *in vitro* ya que mostró resultados positivos al evaluarla con diferentes sistemas biomarcadores (i.e. ensayos de aberraciones cromosómicas, de micronúcleos, de mutagénesis e incluso con el ensayo cometa). Es un insecticida organofosforado, cancerígeno, de exposición prolongada mortal. Bajas concentraciones interfieren en el desarrollo del sistema nervioso de los mamíferos y producen bajo peso y cabeza de tamaño reducido en los recién nacidos. La EPA (U.S. Environmental Protection Agency) prohibió su uso en productos domésticos debido al alto riesgo para la salud de los niños y canceló todos los registros de productos que contengan clorpirifós.

Los fosforados son insecticidas que inhiben la acetilcolinesterasa, enzima que degrada el neurotransmisor acetilcolina y es indispensable para el desarrollo normal de la función nerviosa (Stenersen, 2004). Si se respetan las recomendaciones de uso, los riesgos ambientales y sanitarios asociados al uso de estos insecticidas son mínimos. Sin embargo, los fosforados como el clorpirifós han sido muy cuestionados a causa de su alta toxicidad en los mamíferos. Por este motivo, se siguieron buscando alternativas más seguras (Alzogaray, 2005).

Acerca de la Cipermetrina. Es un insecticida piretroide, fotoestable con una vida media al aire libre de alrededor de un mes. Es no volátil, de “baja” toxicidad para el ser humano, no mutágeno, no cancerígeno, no teratógeno y no se acumula en tejidos grasos. Es altamente tóxico para abejas y muy tóxico para peces. Los piretroides son análogos sintéticos de las piretrinas producidas por el crisantemo *Chrysanthemum cinerariifolium*. Es interesante subrayar que los piretroides se convirtieron en la alternativa que se buscaba para reemplazar a los carbamatos y a los fosforados. Su aplicación requiere entrenamiento profesional y constituye una medida de control con muy bajo riesgo para el ambiente y las personas (Alzogaray, 2005). El primer síntoma visible de intoxicación en los insectos tratados con piretroides es un aumento de la actividad locomotora (Benoit *et al.*, 1985; Alzogaray *et al.*, 1997), propiedad responsable del fenómeno de expurgue que hace que los insectos abandonen sus refugios. La aplicación simultánea de una sustancia expurgante y otra tóxica, aumenta la exposición de los insectos a esta última (en el caso de los piretroides, la misma sustancia cumple las dos funciones) (Alzogaray, 2005).

MATERIALES y MÉTODOS

El muestreo de frutos se realizó el día 15 de abril de 2008. Se recolectaron 55 frutos de guayabos infestados con larvas tefritidas (*Anastrepha fraterculus*). Lindero a los guayabos, ubicado a una distancia de aproximadamente 10 metros, se había sembrado un ensayo de maíz en una parcela de 10m x 3 m. El maíz había recibido cuatro tratamientos con la mezcla clorpirifós 0,6% + cipermetrina 0,0625% en las siguientes fechas: 23 de enero, 13 de marzo, 27 de marzo y 10 de abril de 2008.

Los frutos fueron trasladados a nuestro laboratorio donde se mantuvieron aislados en frascos de vidrio bajo condiciones controladas (23°C y 60%HR). Los mismos se revisaron diariamente para diagnosticar la presencia del insecto durante su desarrollo. A los efectos de realizar comparaciones se utilizó una línea de laboratorio de *A. fraterculus* como testigo.

RESULTADOS

La genotoxicidad de la mezcla insecticida excedió el cultivo blanco y es documentada en detalle: la misma pudo ser advertida cuando comenzó la emergencia de los insectos adultos que abandonaban el pupario. Los árboles frutales no fueron fumigados directamente pero recibieron el insecticida accidentalmente de modo indirecto. La observación minuciosa y el análisis de los materiales puso en evidencia la letalidad que se expresó durante todos los estadios del desarrollo tanto inmaduros como maduros de *A. fraterculus*. Se observaron efectos letales en estadios larvales, encontrando 43 larvas necrosadas. La Figura 1 muestra una larva salvaje (1A) y una larva necrosada (1B). Durante la metamorfosis, los efectos letales en las pupas afectaron la cutícula y el tamaño. En la Figura 1 se muestra, además, una pupa salvaje (1C) y una pupa con alteraciones en la cutícula (1D). Sobre un total de 226 pupas recuperadas, sólo el 8,85% llegó a la ecdisis. El 9 de mayo se produjo la ecdisis y emergieron 20 adultos (Figura 2), todos portadores de mutaciones para caracteres morfológicos (i.e. ovipositor, alas y color de ojos) y/o fisiológicos de historia de vida. Éstas afectaron la cópula, la fecundidad, el comportamiento de ovipuesta (bajo número de huevos) el tiempo de desarrollo (amplio intervalo imago-primera ovipuesta) (Figura 3) y viabilidad larva-adulto.

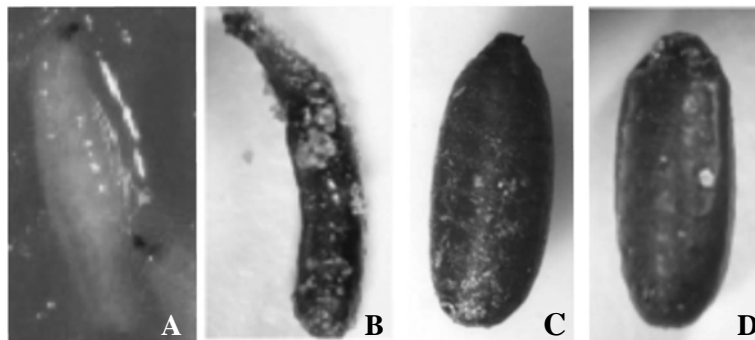


Figura 1. Mutaciones para caracteres morfológicos- A) Larva normal; B) larva necrosada; C) Pupa normal; D) Pupa con alteraciones en la cutícula y en la forma.

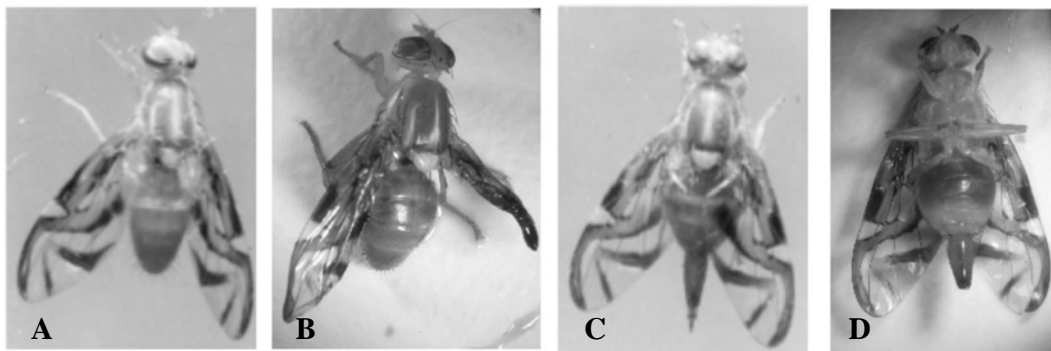


Figura 2. Mutaciones para caracteres morfológicos- A) Macho fenotipo salvaje; B) Macho mutante para color de ojos, alas chamuscadas y abdomen; C) Hembra fenotipo salvaje; D) Hembra mutante para color de ojos, morfología, abdomen y ovipositor.

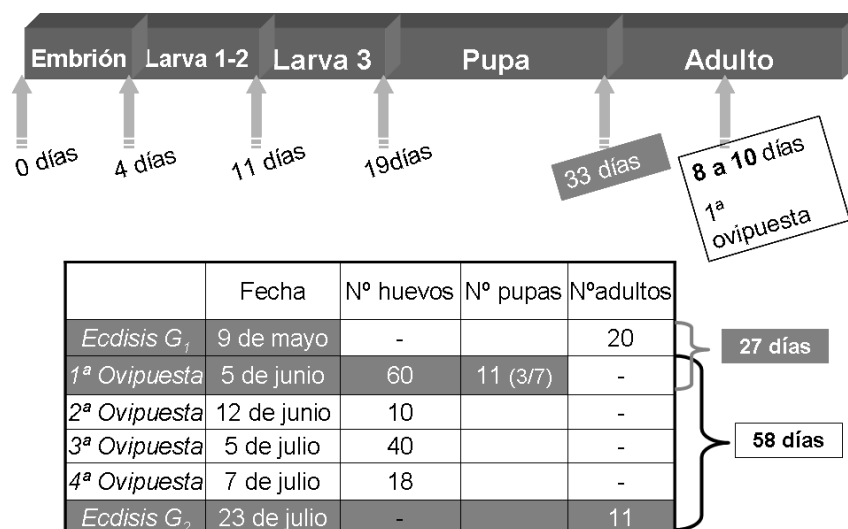


Figura 3. Efectos de la mezcla insecticida sobre caracteres fisiológicos.

La letalidad de la dosis se expresó en todos los estadios del desarrollo. Los efectos sobre caracteres de historia de vida (Figura 3) ponen en evidencia las alteraciones fisiológicas reproductivas con respecto a moscas de una línea de laboratorio de *A. fraterculus*, usada como testigo (Figura 3, barra de desarrollo). El tiempo desde ecdisis (9 de mayo) a la primera ovipuesta (5 de junio) fue de 27 días, lo que representa un retraso de 20 días con respecto al tiempo esperado de entre 8 y 10 días (Figura 3, barra de desarrollo). La viabilidad huevo a pupa medida fue muy baja, sólo alcanzó el 18,3%. Los individuos que llegaron a pupa, emergieron el 23 de julio, o sea a los 58 días (G2) desde la ovipuesta, lo que representa un retraso de 25 días. La segunda generación de insectos no dejó descendencia. En las otras tres ovipuestas los huevos no eclosionaron, expresándose letalidad gamética o cigótica.

DISCUSIÓN

Las relaciones entre las mutaciones morfológicas y las mutaciones fisiológicas presentan asociaciones múltiples (Tabla 1).

Tabla 1. Asociaciones entre mutaciones morfológicas y fisiológicas.

| Mutaciones morfológicas | Mutaciones fisiológicas |
|------------------------------------|--------------------------|
| Color de ojos (2 variantes) | Comportamiento de cópula |
| Tamaño de ovipositor (2 variantes) | fecundidad |
| Ovipositor vestigial | Retraso de 1ª ovipuesta |
| Alas chamuscadas | Tiempo de desarrollo |
| Necrosis larval | Viabilidad larva-adulto |

Dado que en estadio de larva 3 sólo contamos 43 individuos necrosados, probablemente una alta proporción de inmaduros se perdió en estadios previos pero fueron imperceptibles debido al pequeño tamaño y al estado de putrefacción de los frutos. Las dosis recomendadas por la OMS para ensayos de evaluación *in vitro*, son un 70% mayores que las informadas en este trabajo (Tabla 2) para controlar la sanidad del maíz, alcanzando a los frutales de modo indirecto pero ejerciendo un efecto letal sobre los insectos. Para revisiones de dosis Letal 50 de Clorpirifós y de éste combinado con Cipermetrina, consultar Betti *et al.*, (1994); Bisset *et al.*, (1998, 2001); Ramírez y Cuenca (2002); y Iannacone y Alvariano (2007).

Tabla 2. Dosis recomendadas y dosis utilizadas en este trabajo.

| Plaguicida | Dosis utilizada aquí | Dosis OMS |
|---------------------|----------------------|-----------|
| Cipermetrina | 0,0625 % | 0,1 % |
| Clorpirifós | 0,6 % | 1 % |

En *Blatella germanica* esta mezcla insecticida muestra mayor efecto residual (Iannacone y Alvariano, 2007).

El ser humano está expuesto a mezclas complejas de plaguicidas, por lo que habría que analizar el comportamiento de las mezclas de ambos compuestos y de cada uno combinado con otros plaguicidas usados en los cultivos, para evaluar posibles efectos antagónicos o sinérgicos que modifiquen su potencial genotóxico (Bisset *et al.*, 1998; 2001). En la vida real lo que se expone es el organismo completo a la naturaleza, donde están activos los mecanismos de tolerancia, reparación y el metabolismo xenobiótico, funcionando simultáneamente diversos órganos y hormonas que participan en la detoxificación: es imprescindible ser cauto al extrapolar los resultados que se obtienen en estudios *in vitro* para predecir lo que ocurre *in vivo* (Betti *et al.*, 1994; Ramírez, 1998).

CONCLUSIONES

Revelamos el nivel genotóxico de una mezcla prohibida en relación a la concentración y al número de dosis aplicadas. La genotoxicidad de la mezcla insecticida excedió el cultivo blanco: 91,15% de los insectos, desarrollados dentro del fruto, murió en estadios inmaduros (huevo-larva-pupa). El corto ciclo de vida de estos insectos permitió revelar los efectos mutagénicos durante el desarrollo. Los insectos recibieron el insecticida en forma indirecta, mientras el hombre toma contacto y lo inhala en forma directa, pero los efectos se ven a largo plazo.

¿Cómo detenemos la negligencia que arriesga la sustentabilidad de los recursos naturales del planeta y de la vida, la salud y el bienestar humano?

La educación ambiental es una educación potencial de valores. Por lo tanto, la consigna es lograr el respeto de las reglas desde el conocimiento: ¿Conocemos lo que usamos?

La presentación parcial de este trabajo en las II Jornadas PIUBACC y VI Simposio de la Red CYTED y la conferencia dictada en el marco del Seminario “Agroquímicos”, Facultad de Agronomía-UBA, Septiembre de 2009 que contó con la presencia del

Periodismo, contribuyeron a terminar con el uso de Clorpirifós en nuestro país. A partir del 19 de Octubre de 2009 se prohibió el uso de Clorpirifós en la República Argentina por Resolución 456/09 del Ministerio de Salud.

BIBLIOGRAFÍA

- ALZOGARAY, R. 2005. El control químico de *Triatoma infestans* en Argentina. RETEL (Revista de toxicología en línea) N° 9. <http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm>
- ALZOGARAY, RA; FONTÁN, A. y ZERBA, E.N. 1997. Evaluation of hyperactivity produced by pyrethroid treatment on third instar nymphs of *Triatoma infestans*. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 35: 323-333.
- BENOIT, M; BRUNAEU, P. y MEINARD, C. 1985. Comparative activity of tralomethrin and deltamethrin on *Periplaneta Americana*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 26:284-291.
- BETTI, C; DAVINI, T.; GIANESSI, L.; LOPRIENO, N. y BARALE, R. 1994. Microgel electrophoresis assay (comet test) and SCE analysis in human lymphocytes from 100 normal subjects. *Mut. Res.* 343: 201-207.
- BISSET, J; RODRÍGUEZ, M.M.; DÍAZ, C. y SOCA, LA. 1998. Estudio de la resistencia en una cepa de *Culex quinquefasciatus*, procedente de Medellín, Colombia. *Rev. Cubana Med. Trop.* 50(2): 133-7.
- BISSET, J.; RODRÍGUEZ, M.M.; MOLINA, D.; DÍAZ, C. y SOCA, L.A. 2001. Esterasas elevadas como mecanismo de resistencia a insecticidas organofosforados en cepas de *Aedes aegypti*. *Rev. Cubana Med. Trop.* 53 (1):37-43.
- CASTRO, R; RAMÍREZ, V. y CUENCA, P. 2004. Micronúcleos y otras anormalidades nucleares en el epitelio oral de mujeres expuestas ocupacionalmente a plaguicidas. *Rev. Biol. Trop.* 52(3): 207-217.
- CUENCA, P y V RAMÍREZ., 2004. Mutagénesis ambiental y el uso de biomarcadores para predecir el riesgo de cáncer. *Rev. Biol. Trop.* 52(3). 585-590.
- IANNACONE, J. y ALVARIÑO, L. 2007. Integración del control químico y etológico para la supresión poblacional de *Blatella germanica* (Linnaeus) (Diptera: Blatellidae) en Lima, Perú. *Parasitol. Latinoam.* 62: 7-15.
- OMS. 2003. Chlorpyrifos in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/87).
- RAMÍREZ, V. 1998. Efecto genotóxico de los plaguicidas en una población costarricense de trabajadoras bananeras. Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en Biología, Sistema de Estudios de Posgrado. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 107pp.
- RAMÍREZ, V. y CUENCA, P. 2002. Daño del ADN en trabajadoras bananeras expuestas a plaguicidas en Limón, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 50(2): 507-518.
- STENERSEN, J. 2004. Chemical pesticides: mode of action and Toxicology. Publisher, New York. 296pp.

Impactos sobre los servicios ambientales, salud, indicadores psicosociales y bienestar humano.



GESTIÓN DEL RIESGO Y DINÁMICA DEL CLIMA EN GRANDES CIUDADES: EL CASO DE BUENOS AIRES

Risk management and climate dynamics in big cities: the case of Buenos Aires

Silvia Graciela González^{1*}; Jesús Pablo Damián Bondioni¹ y Claudia Natenzon^{1,2}

¹Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente – PIRNA, Instituto de Geografía, FFyL/UBA, Puán 480 4° piso (1406) CABA

²Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales – FLACSO
sgg@filo.uba.ar

RESUMEN

Buenos Aires es la ciudad más importante de Argentina: es su distrito federal y el escenario de procesos productivos y decisiones políticas de toda índole; además, es una de las ciudades costeras más grandes del mundo por su dimensión demográfica. Desde el punto de vista del riesgo, está sujeta a peligrosidades ligadas al funcionamiento climático-hídrico, que disparan desastres tales como inundaciones y olas de calor de distinta magnitud y recurrencia. Las variaciones en la dinámica del clima podrían potenciar los efectos negativos de las catástrofes, a la vez que incrementar la susceptibilidad de la infraestructura de servicios, como la hidráulica, y comprometer la respuesta del sistema energético frente a aumentos en la demanda. ¿Está la ciudad preparada para hacer frente a las consecuencias de los cambios pronosticados hacia el futuro en la dinámica del clima? Nuestras investigaciones enfocan a responder dicha pregunta, colocando una atención especial al estado de las redes de infraestructura hidráulica, a la situación de la demanda energética y a las iniciativas en materia de gestión de riesgos. Se pretende plantear y caracterizar la problemática actual como paso previo necesario a la toma de decisiones actuales con incidencia tanto en el presente como a futuro.

Palabras clave: gestión del riesgo, dinámica del clima, inundaciones, olas de calor, red hidráulica, demanda energía eléctrica, cambio climático, variabilidad climática

SUMMARY

Buenos Aires is the most important city of Argentina: it is the Federal District and the scenario of productive processes and political decisions of all kind; plus, it is one of the biggest coastal cities worldwide due to its demographic dimension. From the point of view of risk construction, there are hydro-climatic related hazards which cause disasters such as floods and heat waves of different magnitude and recurrence. Variations in climate dynamics could amplify the negative effects of the disasters as well as increase the susceptibility of the infrastructure, such as the hydraulic one, and compromise the response of the energetic supply facing increases in the demand. ¿Is the city prepared to face the possible consequences of the projected changes in climate dynamics? Our researches aim to answer this question, focusing on the state of the hydraulic infrastructure, on the energetic demand situation and on the projects on risk management. In this paper, we pose and characterize the current issues as a previous necessary step to contribute to the decision making both in current and in future times.

Key words: risk management, climate dynamics, floods, heat waves, hydraulic network, electric energy demand, climate change, climatic variability

INTRODUCCIÓN

Buenos Aires, capital nacional y principal aglomerado urbano de Argentina está sometida, desde su misma fundación, a la dinámica del sistema natural que ha servido de sostén de su progresiva y permanente expansión urbana. Desde el punto de vista climático-hídrico, la ciudad se construyó sobre los valles de inundación de varios pequeños arroyos que fueron convenientemente rellenados u ocultados pero que sin embargo se mantienen como elementos disparadores de inundaciones. Por otra parte, Buenos Aires afecta, como toda gran ciudad, el clima local y, particularmente, la temperatura: son conocidos los efectos de la urbanización en la formación de los fenómenos de islas de calor o de su incidencia en la aparición de olas de calor.

Inundaciones y olas de calor han provocado desastres de diferente magnitud en la ciudad, la cual llegó a ver seriamente comprometido su funcionamiento cotidiano como resultado del anegamiento de calles, viviendas y comercios, el corte del suministro eléctrico y otros problemas relacionados, como la paralización de los servicios de transporte público o los cortes en el servicio de agua potable. En estas situaciones críticas mucho tiene que ver la forma en que se ha gestionado el riesgo en la ciudad tanto en lo que hace a la mitigación de inundaciones como a las acciones tendientes a satisfacer los aumentos de la demanda de energía eléctrica.

La variabilidad climática actual y el cambio climático futuro –en fin, la dinámica del clima- plantean un gran desafío frente a este escenario de alta exposición y vulnerabilidad en la ciudad más importante del país, que debe ser caracterizado y analizado a fin de lograr comprenderlo y, en definitiva, hacer aportes concretos a la toma de decisión ligada a estos fenómenos. El trabajo que se presenta a continuación apunta a resolver la primera cuestión, esto es, el planteamiento y la caracterización preliminar de las inundaciones, las olas de calor y cuestiones clave a ellas asociadas en la Ciudad de Buenos Aires, a fin de lograr, hacia el futuro, los avances necesarios para aportar al análisis y la resolución de la problemática.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Ciudad de Buenos Aires es el área central de un aglomerado de más de 12000000 de habitantes (INDEC, 2004), donde se concentran dinámicas productivas, económicas y de toma de decisión política de alto nivel, todo lo cual explica la importancia de la ciudad metropolitana en el contexto del país y aún de la región. Desde el punto de vista de su sitio geográfico y de las particularidades de su sostén natural, se trata de un área urbana costera donde la dinámica climático-hídrica puede manifestarse como peligrosidad en inundaciones recurrentes –de aparición variable a lo largo del año- y en olas de calor –más frecuentes en el verano-, entre otras.

En el caso de las inundaciones, se identifican dos grandes mecanismos que disparan la peligrosidad: la ocurrencia de lluvias de alta intensidad –de origen convectivo, frontal y, en algunos casos, como resultado de la formación de complejos convectivos de mesoescala- y las crecidas del río de la Plata, ya sea por sudestada o por el ingreso de ondas oceánicas al estuario. En el caso de las tormentas, el mayor efecto negativo se asocia a la traza de los antiguos arroyos canalizados (Medrano, White, Vega, Maldonado, Ugarteche, Cildáñez) y sus áreas de influencia; ejemplos recientes de inundaciones disparadas por este tipo de procesos son las producidas el 31 de mayo de

1985 (la de mayor magnitud registrada hasta el momento para Villa Ortúzar: 308 mm) y el 24 de enero de 2001 (la de mayor intensidad también para la misma estación: 96 mm/30 min); además de los daños a bienes y personas que provocaron, ambas situaciones de desastre pueden considerarse como paradigmáticas por los cambios que marcaron a nivel de la mitigación de inundaciones en la ciudad (González, 2009). La Figura 1 muestra las áreas anegadas por ambas tormentas para el caso de la cuenca del arroyo Maldonado, la más grande de Buenos Aires.

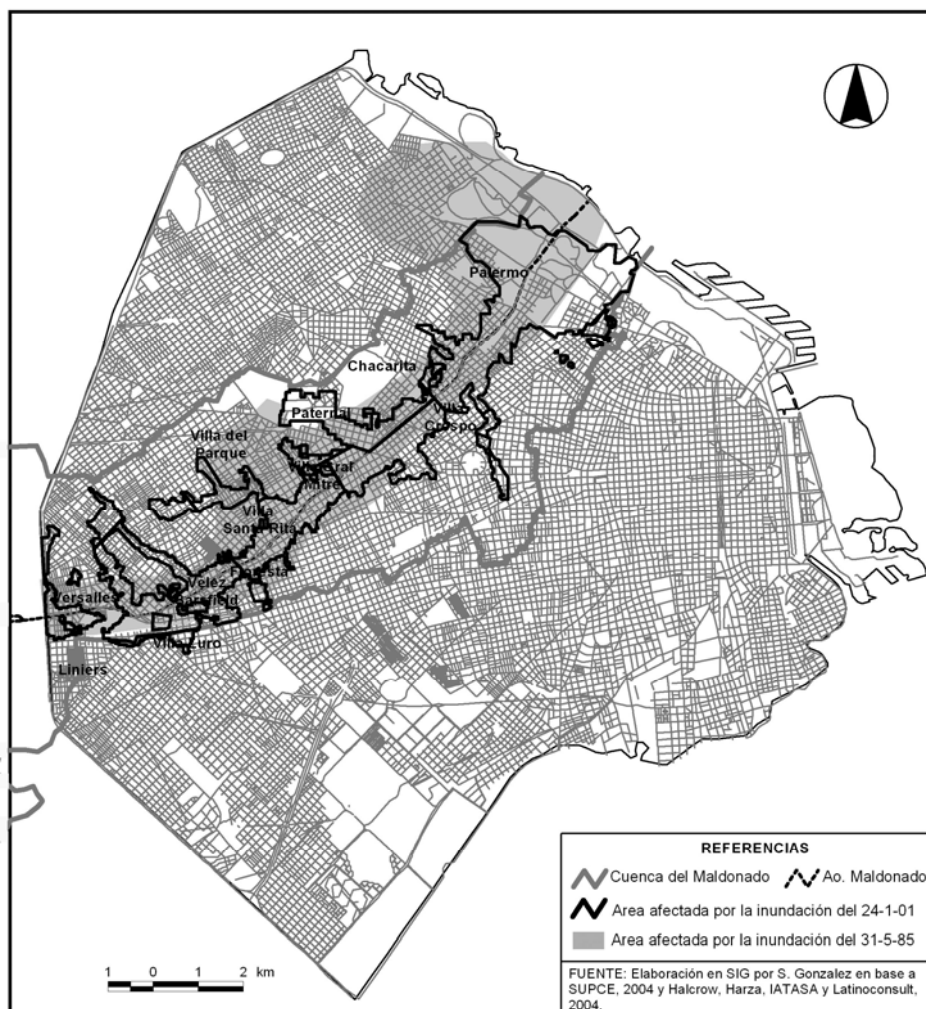


Figura 1. Cuenca del Arroyo Maldonado: áreas anegadas por inundaciones

Para las crecidas del Plata, el mayor impacto se observa sobre la ribera, hasta la cota de 5 m. El aumento en el nivel del estuario provoca un efecto de “tapón hidráulico” que dificulta el escurrimiento normal de los arroyos y ríos que en él desaguan (caso de los cursos de agua mencionados y de los dos ríos metropolitanos: el Matanza-Riachuelo y el Reconquista). Inundaciones históricas por crecidas del río de la Plata fueron las registradas el 15 de abril de 1940 (4,65 m sobre el 0 del Riachuelo, de recurrencia 200 años) y la del 12 de noviembre de 1989 (4,20 m, de recurrencia 50 años).

Por su parte, las olas de calor son fenómenos climáticos extremos que, si bien pueden aparecer en cualquier momento del año, son más comunes durante las épocas estivales. Se caracterizan por una elevación de la temperatura por encima de los valores medios normales (esperables) que se extienden desde horas hasta días. Se trata de fenómenos propios del norte y el centro de Argentina que se asocian, por lo general, a la circulación

del norte (Norte *et al*, 2007). Según el Inventario de Desastres *DesInventar* (Centro, 2009) entre 1970 y 2004 se han registrado en Buenos Aires 17 olas de calor que causaron fuertes impactos sobre la salud de la población y sobre la provisión de servicio eléctrico, lo que a su vez causó otros efectos indirectos (corte de servicios de subterráneos, falta de agua, etc.).

Las variaciones observadas en la dinámica del clima se manifiestan en la Ciudad y su área metropolitana en un aumento sostenido de la temperatura media anual desde la década de 1990, a razón de 0.2° C por década. Para el caso de las temperaturas medias máximas, importantes para determinar la incidencia de olas de calor, se señala que se produjo un aumento del orden de 0.8 °C en los últimos 100 años (Camilloni, 2008). Los escenarios climáticos a futuro prevén, además, un calentamiento del orden de 0,5° C hacia la década de 2020, conjuntamente con una elevación de las temperaturas medias de los meses más cálidos (intensificadas en la Ciudad debido al fenómeno de “islas de calor”) y un aumento de la magnitud, duración y recurrencia de olas de calor.

El monto medio anual de precipitaciones también aumentó desde 1960, en un promedio de 22.8 mm por década (Camilloni, op. cit.); por otro lado, la misma autora registra un aumento en la frecuencia de las tormentas intensas, consistente con otros análisis, si bien no existiría evidencia que esté en aumento la cantidad de lluvia caída durante las tormentas (Halcrow *et al.*, 2004). Como ejemplo de lo comentado baste señalar que prácticamente se duplicaron los eventos de precipitaciones por encima de 100 mm en 24 horas entre 1911-1970 y 1980-2000 (Mehrotra, 2009).

Las variaciones climáticas también han tenido sus efectos sobre el río de la Plata, que aumentó su nivel medio en un promedio de 1.7 mm por año a lo largo del siglo XX (Menéndez *et al*, 2004). De continuar esta tendencia, las inundaciones por crecida del estuario serán más frecuentes e intensas; además, se potenciarán efectos secundarios como la erosión sobre la costa (Camilloni y Barros, 2008).

Encuadre conceptual

La búsqueda de una respuesta a la pregunta que guía este trabajo se encuadra en el abordaje de la cuestión del riesgo y sus vinculaciones con la dinámica del clima. Desde una perspectiva social, la noción de riesgo descansa sobre la centralidad de la *responsabilidad* de los actores en sus actos (Giddens, 1990, 2000) para explicar las situaciones emergentes como desastres o catástrofes. El riesgo, en tanto contexto no deseado o condición latente que capta posibilidad de pérdidas en el futuro (Lavell, 2002) es fruto, a su vez, de un proceso de construcción social que se gesta con cada decisión en el cotidiano. Por lo tanto, se entiende que toda acción o decisión que se tome en la gestión de la ciudad de Buenos Aires contribuirá en mayor o menor medida a construir el riesgo, tanto disparado por fenómenos naturales (como los que aquí se analizan) como por procesos de origen tecnológico.

Una forma de analizar el riesgo es descomponer la noción en cuatro dimensiones analíticas propuestas por Natenzon (1995, 2002) y retomadas en los trabajos del Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA) del Instituto de Geografía, FFyL/UBA. Tales dimensiones son: la *peligrosidad*, o potencial de daño implicado en procesos de la naturaleza o aquellos derivados de su manipulación; la *vulnerabilidad*, o condiciones sociales, institucionales y culturales de un grupo social enfrentado a una peligrosidad dada; la *exposición*, o materialización en el territorio de la interacción entre las dos primeras; e *incertidumbre*, que representa lo no conocido, lo que no responder el análisis del resto de las dimensiones pero que sin embargo debe hacerse explícito a fin de atender problemas de resolución urgente. Como puede observarse, este abordaje analítico da cuenta de: a) la complejidad del problema a

abordar y b) de la necesidad de un enfoque interdisciplinario (González *et al.*, 2007) que responda a la multiplicidad de miradas posibles sobre la problemática, todas válidas y concurrentes a explicar las situaciones de riesgo.

Esta propuesta de análisis ha sido el marco utilizado por el PIRNA para abordar la cuestión del cambio climático, que es, además, uno de los problemas clave de la sociedad moderna, rebautizada por Beck (2008) como la sociedad del riesgo mundial. En tal sentido y dada la discusión existente sobre los conceptos de cambio y variabilidad climática, optamos trabajar con *dinámica del clima*, noción que coloca el foco en el proceso y en el *tiempo*, factor clave para diferenciar cambio de variabilidad (Baethgen, 2006) y para captar la contradicción que se plantea entre la formulación científica de escenarios climáticos futuros a largo plazo (con todas las incertidumbres técnicas a ellos asociadas) y la necesidad social y política de dar respuesta a corto y mediano plazo a problemas derivados de la concreción de los procesos climáticos en tanto peligrosidad *actual*.

Los cambios pronosticados en la *dinámica del clima* a futuro –ya sea por cambio o por variabilidad en los parámetros climáticos principales- actúan como factores de *amplificación* de las peligrosidades de origen climático e hídrico; este concepto, formulado inicialmente como “amplificación social del riesgo” (Kasperson, 2002; Renn, 2008), refiere a la incidencia de factores de índole social, política o económica “externos” a la peligrosidad, que hacen que su concreción en tanto desastre produzca consecuencias más severas. En este caso, las variaciones climáticas no son externas a la dinámica natural pero sí incidirían de modo tal de “normalizar” los eventos extraordinarios (aquellos “más raros”) o de potenciar las consecuencias catastróficas de eventos “normales”. A ello deben sumarse como factores amplificadores, otras cuestiones que hacen al soporte de infraestructura de la Ciudad de Buenos Aires y a las decisiones sobre ella, tal como se discutirá en el apartado siguiente.

Frente a una configuración de riesgos cada vez más compleja -y mucho más aún en el caso de grandes metrópolis- donde se superponen y se recrean peligrosidades y vulnerabilidades, se vuelve una necesidad no sólo analizar los procesos que llevan a la construcción de tales riesgos, sino también buscar mecanismos tendientes a gestionarlos. Una revisión bibliográfica sobre el particular permite concluir que la *gestión del riesgo* es un proceso social complejo que involucra actores sociales múltiples y exige una toma de decisión informada sobre opciones posibles, estableciendo niveles aceptables de riesgo y reconociendo las incertidumbres (González, 2009; Lavell, 2002; Lavell, 2003; López Cerezo y Luján López, 2000) que emergen de problemas de comensurabilidad difícil y con efectos sinérgicos a largo plazo, como son aquellos que devienen de la dinámica del clima. Si se parte de entender que el riesgo se construye en un proceso continuo que tiene una materialización territorial, la gestión del riesgo necesariamente deberá estar integrada en las decisiones que se tomen en la gestión del territorio.

A continuación se discute la aplicación de estos conceptos al caso de la Ciudad de Buenos Aires, analizando particularmente lo concerniente a la gestión de riesgos asociados a la dinámica del clima y al rol de la infraestructura hidráulica y la provisión de energía eléctrica, entendidas como medidas de mitigación de inundaciones actuales y futuras (red pluvial) y como sostén de actividades múltiples de la ciudad (energía) que debería responder frente a la potenciación de los efectos de olas de calor. En el primer caso se exponen brevemente los resultados de una investigación desarrollada hasta el momento, mientras que en el segundo se presenta el planteo del problema a ser abordado en un trabajo de investigación próximo a iniciarse.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las inundaciones, la red pluvial y la gestión del riesgo

Puede afirmarse que la provisión de desagües pluviales fue la principal medida de mitigación de inundaciones en la Ciudad hasta el 2009 (año en el que está comenzando a ejecutarse el proyecto de alivio al arroyo Maldonado). Diseñada en 1919 y construida entre las décadas de 1920 y 1950, el objetivo de la red pluvial no era solamente atacar el problema de la inundación, sino además lograr el saneamiento de las áreas que aún carecían de infraestructura básica (el núcleo central de la Ciudad o “Radio Antiguo”, más consolidado desde el punto de vista urbano, ya contaba en aquella época con desagües pluvio-cloacales). Para las obras del llamado Radio Nuevo se aprovechó el diseño hidrológico natural: los arroyos que surcaban Buenos Aires se convirtieron así en los conductos principales que recogen, a través de un intrincado sistema hidráulico, el agua de lluvia que cae sobre sus respectivas cuencas.

Hacia fines del siglo XX la red pluvial comenzó a mostrar signos de obsolescencia, en parte por el crecimiento urbano de los partidos metropolitanos, que superaron las previsiones hechas al momento de construir los pluviales, en parte por el deficiente mantenimiento de la red y en parte por la conjunción de decisiones tomadas sobre el territorio de la Ciudad que llevaron a la redensificación de las áreas sujetas a peligrosidad hídrica. La ya mencionada inundación del 31 de mayo de 1985 colocó en escena todos estos problemas y desnudó, al mismo tiempo, los altos niveles de vulnerabilidad institucional existente en relación al manejo de la inundación, que no hicieron otra cosa que amplificar las consecuencias de la lluvia. A partir de dicho desastre, que de alguna forma “redescubrió” la existencia de los arroyos canalizados, olvidados bajo el asfalto (González, 2005, 2009), se comenzaron a plantear diversos proyectos de mitigación, todos ellos enfocados a la solución hidráulica, ya sea por medio de la mejora en los coeficientes de escorrentía (obras de alivio a los canales principales de las cuencas urbanizadas), por medio de la retención (los llamados “reservorios”) o bien por una combinación de ambos. Sin embargo, estos planes solo pudieron llevarse a cabo en forma parcial (como por ejemplo, el reemplazo de las columnas por tabiques en el emisario principal del Maldonado), por lo que la gestión del riesgo por inundaciones permaneció, como hasta entonces, sesgada hacia la respuesta como momento privilegiado de intervención (González, 2005).

En 2004, la formulación del Plan Maestro de Ordenamiento Hidráulico (luego de la inundación catastrófica de enero de 2001) introdujo la novedad de medidas no estructurales, tales como la implementación de un sistema de alerta temprana o la compatibilidad entre los usos del suelo y el mapa de peligrosidad hídrica, acompañando las obras de ingeniería. En el análisis de base para el diseño de obra, este Plan no considera concluyente que se esté registrando un aumento en la cantidad de tormentas intensas, si bien la tendencia positiva es “digna de notar” (Halcrow *et al.*, op. cit.). Tampoco existen evidencias de la consideración del aumento registrado en el nivel medio del río de la Plata hasta el momento, lo cual es llamativo dado el diseño propuesto para las obras, sobre todo en el caso del emisario principal del Maldonado (obra en túnel con descarga mediante bombeo en el río de la Plata) y la influencia del estuario en el funcionamiento hidráulico de las canalizaciones.

Por otra parte, es necesario señalar que las obras que se iniciaron recientemente están siendo puestas en tela de juicio por organizaciones de la sociedad civil, profesionales y legisladores de la Ciudad que cuestionan la real dimensión del impacto ambiental y específicamente la potencial afectación del Puelche. Esta cuestión no es menor en el

análisis, pues señala la complejidad del problema y de las propuestas de mitigación, también impregnadas de incertidumbre.

Es justamente la alta incidencia de la incertidumbre técnica el rasgo central en la historia del manejo de las inundaciones en Buenos Aires. Manifestaciones de incertidumbre tales como la discusión sobre soluciones posibles o la falta de conocimiento acabado del funcionamiento del sistema climático-hídrico, quedaron soslayadas bajo la toma de decisión política ligada al problema. A esta situación se suma ahora los interrogantes que abren a futuro las variaciones y cambios esperados en la dinámica del clima, cuestión que tampoco parece haber incidido en el planteo de las medidas de mitigación. La resolución de las incertidumbres en el campo político y, a ligado a ello, la alta vulnerabilidad institucional, son las cuestiones claves a resolver para el logro de una gestión del riesgo integral -conjunción de medidas de diferente alcance y tipo- e integrada –a los procesos cotidianos de construcción del territorio urbano-.

La dinámica del clima, las olas de calor y la demanda de energía eléctrica

La energía eléctrica es el principal servicio urbano contemporáneo debido a que se trata de la base de prácticamente todas las actividades de la ciudad. De la energía dependen, entre otros, la iluminación pública, la circulación de trenes y subterráneos, el control de tránsito, el movimiento de máquinas, la prestación de servicios de salud y de educación; como se ve, su provisión es un factor clave del desarrollo de la economía local.

El ciclo de expansión económica comenzado en 2001 conllevó un aumento del consumo de energía eléctrica en la ciudad de Buenos Aires y particularmente durante los meses correspondientes a las estaciones extremas. Es así como el pico máximo se produce en los meses de invierno (Figura 2) como consecuencia, sobre todo, de la mayor necesidad de iluminación artificial (debido a la menor duración de luz solar diaria); el segundo pico se da durante el verano, lo cual se vincula, esencialmente, al uso de equipos de acondicionamiento del aire. Otro factor a tener en cuenta es el referente a los niveles de actividad durante las estaciones mencionadas: mientras que durante los meses invernales la Ciudad se encuentra en pleno desarrollo de las actividades de índole comercial, administrativa, financiera y de servicios en general, en la época estival se observa un menor nivel de actividad debido al receso vacacional.

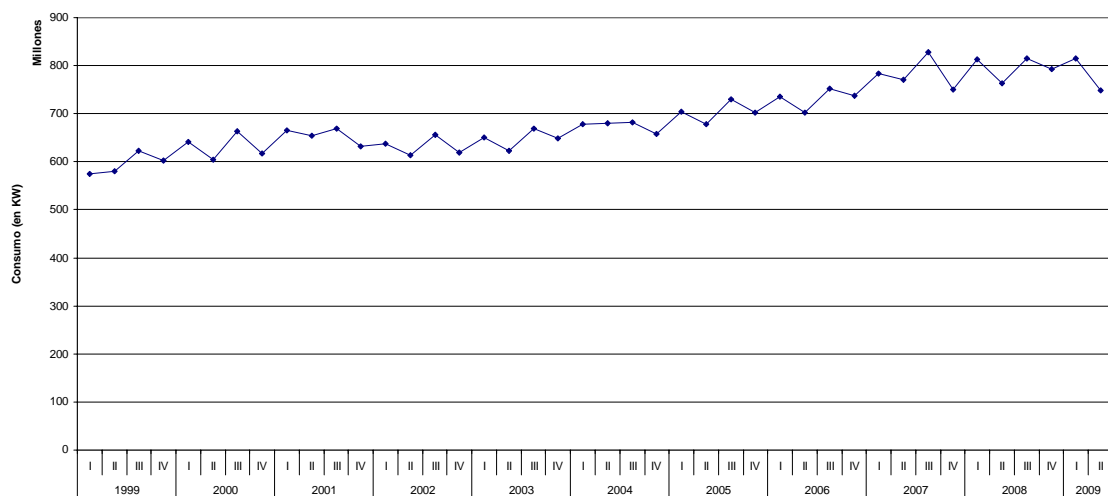


Figura 2. Consumo de energía eléctrica en la ciudad de Buenos Aires

Al analizar la composición de la demanda de energía por sector, se observa que su base se encuentra constituida por los consumos de tipo público e industrial, los cuales varían poco a lo largo del año. Las demandas comerciales y residenciales, por su parte, son las de mayores proporciones y variaciones; en efecto, según datos para 2008, los consumos de tipo comercial concentraron el 39% del total demandado a lo largo del año, con un pico de consumo durante los meses de verano; por otro lado, los de tipo residencial fueron los que acumularon la mayor demanda anual (47% del total), con las mayores necesidades de aprovisionamiento durante los meses de invierno (tercer trimestre).

La temperatura es un factor decisivo para entender las causas del comportamiento de la demanda de energía eléctrica. El fenómeno de “isla de calor”, asociado a la temperatura, es típico de áreas urbanas y provoca inviernos más benignos y veranos más calurosos. Así, en la época estival la población percibe estas variaciones y, ante las elevadas temperaturas se produce un aumento de la demanda de energía eléctrica debido a la “necesidad” de acondicionar los ambientes a temperaturas más “tolerables”, ya sea en hogares como en oficinas. En un análisis comparativo de los consumos de energía eléctrica para el primer trimestre entre 1999 y 2009, se observa un aumento del volumen demandado desde 2002 (Figura 3). Más allá de la tendencia al aumento de la temperatura, la evolución de los consumos de energía es independiente de las variaciones interanuales de temperatura. Las causas para explicar el comportamiento del consumo deberían buscarse entonces en cuestiones contextuales de origen social, económico y político.

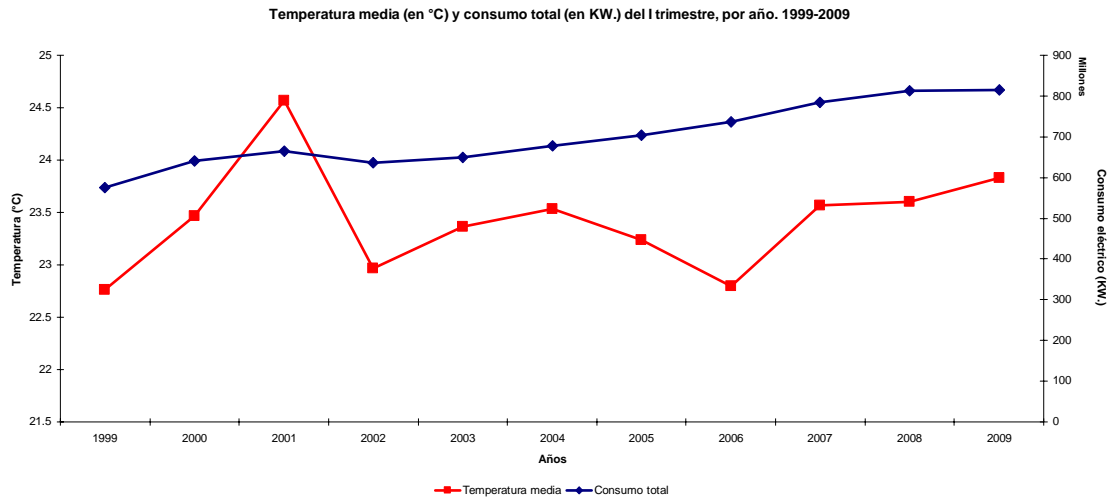


Figura 3. Temperatura media (en °C) y consumo total (en KW.) del I trimestre, por año. 1999-2009.

En época estival también se vuelven frecuentes las olas de calor. Durante estos lapsos de tiempo se alcanzan picos de consumo eléctrico, que muchas veces pueden marcar records de demanda. En los últimos años, dichos eventos han conllevado restricciones en el uso de electricidad a los clientes industriales de la ciudad, en búsqueda de evitar la falta de energía en otros tipos de usuarios, principalmente los residenciales. Esta decisión marca un síntoma de la incapacidad del sistema energético de satisfacer la demanda en momentos de máximos requerimientos.

Los efectos esperados de los cambios pronosticados en las temperaturas a futuro y su incidencia sobre la recurrencia e intensidad de las olas de calor convierten en esperable un escenario caracterizado por la amplificación de la incapacidad de satisfacción de las demandas de energía eléctrica de la ciudad de Buenos Aires, en períodos de intenso calor. Asimismo, dicho escenario debe valorar si las políticas públicas en materia de energía tienen en cuenta los probables impactos de los fenómenos aquí descriptos; como muestra de la situación actual, basta señalar que las empresas que manejan el recurso destinan solo un 12,5% de su inversión al aumento de la producción (INDEC, 2009). En este contexto se convierte en urgente el análisis de la naturaleza de las olas de calor en la Ciudad de Buenos Aires y de cómo el sistema energético se prepara para soportar situaciones de grandes incrementos de la demanda debido a dicho fenómeno natural.

CONCLUSIONES

¿Serán las inundaciones más catastróficas en el futuro? ¿Será habitual que los porteños sufran cortes del suministro eléctrico los días de mayor calor? Estas preguntas, entre otras posibles, surgen claramente del planteo del problema y del reconocimiento de la alta incidencia de la incertidumbre que emerge tanto del análisis de la ciudad como sistema socio-técnico (Porto *et al.*, 1999) como de las predicciones ligadas al comportamiento climático a futuro.

Además del reconocimiento del papel central de la incertidumbre en la construcción del riesgo de origen climático-hídrico en Buenos Aires, es también claro el rol que tienen las instituciones de gobierno en tal proceso. En tal sentido, el funcionamiento de las redes pluviales o el abastecimiento energético en momentos críticos del año pueden tomarse tanto como factores amplificadores de las peligrosidades naturales existentes o bien como base para la adopción de mecanismos de mitigación y adaptación frente a los cambios pronosticados en la dinámica del clima a futuro. En el caso de las inundaciones, un paso adelante pareciera haberse dado con la puesta en marcha de una parte del Plan Maestro de Ordenamiento Hidráulico, con todas las incertidumbres que ello trae; en el caso de la demanda energética, no aparecen aún medidas de adaptación claras y con cierto grado de efectividad.

En todo caso, deberá tenerse en cuenta que la elección en uno u otro sentido, esto es, amplificación vs. mitigación y adaptación, siempre estará inscrita en el modelo de gestión del riesgo que asuma la Ciudad para sí misma, el que a su vez estará inscripto en un determinado modelo de desarrollo para la sociedad local.

BIBLIOGRAFÍA

- BAETHGEN, W. 2005. Experiences of the International Research Institute for Climate and Society –IRI. En: *II Regional Conference on Climate Change – South America*. São Paulo.
- BECK, U. 2008. La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida. Barcelona, Paidós.
- CAMILLONI, I. 2008. Cambio climático. En: *Atlas Ambiental de Buenos Aires*. Consulta en sitio web: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar> (agosto 2009).
- CAMILLONI, I. Y V. BARROS. 2008. Clima. En: *Atlas Ambiental de Buenos Aires*. Consulta en sitio web: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar> (agosto 2009).
- CENTRO, 2009. Argentina. Inventario histórico de desastres. Contribución al proyecto DesInventar. Consulta en línea: <http://online.desinventar.org/> (noviembre 2009).
- GIDDENS, A. 1990. Consecuencias de la modernidad. Barcelona, Alianza Editorial.
- GIDDENS, A. 2000. Un mundo desbocado. Los efectos de la globalización en nuestras vidas. Madrid, Taurus.

- GONZÁLEZ, S. 2005. Ciudad visible vs. ciudad invisible: la gestión del riesgo por inundaciones en la Ciudad de Buenos Aires. En: *Territorios*, 13: 53-67.
- GONZÁLEZ, S. 2009. Ciudad visible vs. ciudad invisible. Gestión urbana y manejo de inundaciones en la baja cuenca del arroyo Maldonado (Ciudad de Buenos Aires). Universidad de Buenos Aires, Tesis de Doctorado en Geografía.
- GONZÁLEZ, S.; CALVO, A.; MECONI, G. y VIAND, J. 2007. "Riesgo, variabilidad y cambio climático. ¿Estamos preparados?", en *Encrucijadas. La revista de la UBA*, 41: 19-22.
- HALCROW; HARZA; IATASA Y LATINOCONSULT, 2004. Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del arroyo Maldonado. Desarrollo Ejecutivo. *Informe final. Memoria Técnica*. Buenos Aires.
- INDEC, 2004. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2001. Buenos Aires, Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INDEC, 2009. Indicador Sintético de Energía. Buenos Aires, Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- KASPERSON, R. 2002. The social amplification of risk: progress in developing an integrative framework. En: Krinsky, S. & D. Holding –ed.–, *Social theories of risk*. London, Praeger; pp.153-178.
- LAVELL, A. 2002. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. Disponible en: <http://www.desenredando.org>
- LAVELL, A. 2003. La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno a la teoría y la práctica. Guatemala, CEPREDENAC-PNUD.
- LÓPEZ CERREZO, J. y LUJÁN LÓPEZ, J. 2000. Ciencia y política del riesgo. Madrid, Alianza Editorial.
- MEHROTRA, S.; NATENZON, C. E.; OMOJOLA, A.; FOLORUNSHO, R.; GILBRIDE, J. and ROSENZWEIG, C. 2009. Framework for City Climate Risk, Assessment. Buenos Aires, Delhi, Lagos, and New York. In: Commissioned Research. *Fifth Urban Research Symposium Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda*. Marseille, France, World Bank; 80 p.
- MENÉNDEZ, A.; RE, M. y LUDUEÑA, S. 2004. Mapas de riesgo de inundaciones de una zona costera considerando el cambio climático. *XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. São Carlos, Estado do São Paulo, Brasil. Disponible en: http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/congresos/cc_rdplata_riesgo_latino_oct04.pdf
- NATENZON, C. 1995. Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre. Buenos Aires, FLACSO, Serie de Documentos e Informes de Investigación N° 197.
- NATENZON, C. 2002. Vulnerabilidad, incertidumbre y planificación participativa de desastres: el caso de las inundaciones catastróficas en Argentina. En: Firpo de Souza Porto, M. F. S. y C. M. de Freitas, C., *Problemas ambientais e vulnerabilidade: abordagens integradoras para o campo da Saúde Pública*. Rio de Janeiro, CESTEH; pp. 57-78.
- NORTE, F.; SELUCCI, M.; GÓMEZ, J. y SIMONELLI, S. 2007. Análisis de una ola de calor extrema en la región subtropical de América del Sur. *Revista Brasileña de Meteorología*, 22 (3).
- PORTO, M. F. S.; MACHADO, J. M. H. y DE FREITAS, C. M. 1999. Perspectivas para uma análise interdisciplinar e participativa de acidentes (AIPA) no contexto da indústria de processo. En: Porto, M. F. S. y C. M. de Freitas: *Acidentes químicos ampliados: desafios e perspectivas*. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz.
- RENN, O. 2008. Risk governance. Coping with uncertainty in a complex world. London, Earthscan.

ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y BIENESTAR HUMANO EN LA CIUDAD DE ZÁRATE

Land Management and Human Welfare in the City of Zárate.

Edgardo Ariel Peveri y Liliana Mabel Marinelli

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta,
San Martín 1171 (2804) – Campana – Buenos Aires
epeveri@frd.utn.edu.ar

RESUMEN

Las políticas de radicación no se encuentran definidas por un proyecto de crecimiento sostenido, más aún cuando muchos de estos emplazamientos surgen solamente de las pocas posibilidades que tienen ciertos sectores de conseguir vivienda, instalándose en lugares no aptos para tal fin. Algunas soluciones a la situación habitacional, podrían resolver la problemática del momento, pero, indefectiblemente, a largo plazo, presentan inconvenientes en el suministro de los servicios básicos que garanticen un hábitat acorde a un futuro próspero.

El deterioro del ambiente y los efectos dañinos sobre la salud, ante una arbitraria distribución demográfica de la ciudad de Zárate, no suelen ser consideradas al hablar de bienestar humano. En los últimos años hemos visto cómo el desarrollo industrial y los nuevos asentamientos modificaron sus características urbanas.

En este trabajo se pretende ofrecer una descripción del estado actual de ese crecimiento poblacional y su distribución territorial, así como de las características que presentan y su impacto sobre el medio ambiente.

Palabras claves: asentamientos, impacto ambiental, contaminación.

SUMMARY

Policies for establishment are not defined by a project of sustained growth. Even so, many of these sites arise only from the limited possibilities for achieving certain sectors of housing and are located in places not fit for that purpose. Some solutions to the housing situation solve the problems of the moment, but there are long-term drawbacks of providing basic services that would ensure a habitat resulting in a prosperous future. The deterioration of the environment and the harmful effects on public health due to an unplanned demographic distribution within the city of Zárate, are not considered when talking about human welfare. In recent years we have seen changes in the characteristics of industrial development and new urban settlements. This paper aims to provide a description of the current status of that population growth and territorial distribution, as well as the features present and their impact on the environment.

Key words: human settlements, environmental impact, pollution

INTRODUCCIÓN

El desarrollo poblacional es una de las causas de impacto ambiental a considerar en toda comunidad. Uno de los retos del desarrollo sustentable es equilibrar las demandas de recursos naturales de la población con el suministro de la naturaleza, y si ésta es

limitada, analizar opciones disponibles. Para conocer las demandas, necesariamente se debe conocer cuál o cómo es la tendencia de éste crecimiento

Las políticas de radicación están referidas por lo general a emprendimientos industriales o de servicios y no se encuentran definidas por un proyecto de crecimiento sostenido y si además consideramos que todo desarrollo productivo conlleva un aumento demográfico la situación pareciera no contemplar una de las variables más importantes de la planificación urbana “El crecimiento de la Población”. Cuando se organiza mal una comunidad se dejan a un lado los problemas que puedan presentarse a futuro para resolver conflictos momentáneos de características urgentes y más aún, cuando muchos de estos emplazamientos surgen solamente de las pocas posibilidades que tienen ciertos sectores por conseguir vivienda, y por ende se ubican espontáneamente en lugares que no les son propios y que muchas veces no son aptos para tal fin.

La situación económica hace que todo este tipo de problemática se vaya agudizando y la permanencia de familias en propiedades y/o terrenos que no les son propios ya no sea transitoria, sino que se convierte en un hecho consolidado por parte de quienes habitan el lugar.

La distribución de la sociedad comienza con planes sociales de viviendas, muchas veces marginales y de construcciones precarias y que resuelven pero solo “emparchando” la problemática del momento, lamentablemente, hemos notado que a largo plazo se van presentando inconvenientes en el suministro de los servicios básicos que garanticen un hábitat adecuado. La falta de diagramación de políticas sociales y urbanas de los sucesivos gobiernos en materia inmobiliaria, generó que la ocupación espontánea de terrenos privados y fiscales sirviera de base para los asentamientos ilegales, informales e irregulares de una masa poblacional importante, observable hasta nuestros días.

Este trabajo pretende describir y aportar conocimiento de la situación actual de estos asentamientos humanos ilegales y esgrimir algunos de los aspectos más relevantes que influyen en el impacto ambiental de la localidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Problemáticas del Área de Estudio

En los últimos años en la Ciudad de Zárate se ha visto como el desarrollo no planificado modificó las características urbanas produciendo deterioro en el ambiente y problemas sociales del partido.

La ciudad se localiza al N. E. de la Provincia de Buenos Aires, recorrida por dos brazos del río Paraná, ubicada a 59° 2´ Longitud Oeste y 34° 7´ Latitud Sur. El Partido cuenta con dos sectores territoriales claramente diferenciados: un sector Continental que forma parte de la denominada subregión de la Pampa Húmeda, caracterizada por su condición de costa sobre el Río Paraná de las Palmas y otro insular integrante del Delta del Paraná, amplísimo territorio aluvional sometido a inundaciones periódicas. Posee una superficie total de 1202 Km² de los cuales el 46 % corresponde al territorio insular. Ubicada en el margen derecho del Río Paraná de las Palmas, presenta como posibilidades en desarrollo urbano hacia su lateral oeste y al sur.

En los primeros años algunas empresas como las papeleras y frigoríficos se instalaron sobre la costa del Río Paraná y hoy se encuentran dentro de la zona urbana. A partir de los últimos años el desarrollo industrial se centralizó en la zona este. Esto implica que el crecimiento de la zona urbana que por los años 70 se había empezado a realizar hacia ese sector comienza a disminuir por la instalación fabril.

Por otro lado, hacia el sudeste limita con la Ciudad de Campana, cuyo emplazamiento urbano ha comenzado su desarrollo, pero las limitaciones de este espacio ya se están notando y en los próximos diez años se verá colapsado.

Con este panorama la única posibilidad de espacio disponible para la ampliación de la población corresponde a la dirección sur.

En los años 40 la Ciudad de Zárate se perfilaba como una zona de crecimiento económico importante. El área rural no presentaba atractivo por su baja rentabilidad, comenzó, de esta forma un movimiento migratorio de hábitat rural hacia esta ciudad, incluyendo a localidades vecinas de Buenos Aires como también de la provincia limítrofe de Entre Ríos. El crecimiento fabril lo dio en gran magnitud el frigorífico “Smithfield”, pero luego su producción cayó al fin de la Segunda Guerra Mundial. Aunque siguió funcionando, su actividad fue muy reducida. En sus alrededores se había formado un asentamiento conocido como La Carbonilla, la cual ocupaba terrenos pertenecientes al ferrocarril General Urquiza. La erradicación de la misma se produjo en los años 80 y fue trasladada al oeste de la Ciudad, ofreciendo viviendas con planes de entrega de materiales y cuya construcción la debían realizar los mismos propietarios, lo que implicó casas mal diseñadas con enormes problemas edilicios que lejos de resolver un problema, generó un barrio con serios inconvenientes en los servicios, en la planificación y en la ubicación.

A fines de los años 90 la radicación de nuevas industrias fomentó nuevamente la llegada de personas provenientes de otras ciudades. La misma se realizó en forma desorganizada e imprevista. El auge industrial de la zona motivo la ocupación de mano de obra especializada, sin embargo, esto también trajo aparejado el arribo de familias de bajos recursos y sin preparación laboral, con la esperanza de una mejora de su situación económica.

Ante la creciente demanda de suelo habitacional y la falta de ofertas del mismo comenzó a observarse un movimiento de éstas familias hacia lugares ubicados en la periferia de la ciudad que contaban con parcelas privadas deshabitadas y propicias para la ocupación ilegal e informal de estos terrenos, justamente debido a que la zonificación no admitía este tipo conglomerados urbanos.

Todos los movimientos de personas de otras regiones por las oportunidades económicas, hizo que el crecimiento poblacional en el Ciudad de Zárate no fuera netamente autóctono, implicando que no se contara con los conocimientos de los detalles básicos del lugar donde se radicaron. La ubicación de estas familias en terrenos marginales y zonas de alto riesgo aparece evidenciado por problemas frecuentes de evacuaciones por inundaciones donde nunca los hubo.

Por la necesidad de encontrar un lote donde asentarse y de un mercado inmobiliario no acorde a sus posibilidades, se desarrollaron varios asentamientos ilegales e irregulares como por ejemplo en campos pertenecientes al área Naval de las Fuerzas Navales, ubicados éstos en zonas bajas e inundables.

En la zona sur, constituida en un principio por habitantes de bajos recursos, pero con casas establecidas en terrenos propios, se empezaron a ocupar espacios que se utilizaban para recreación de la gente del lugar, así las canchas de futbol se fueron reduciendo hasta desaparecer. El retiro del Ferry-Boat origino un nuevo trazado en el trayecto ferroviario a la Mesopotamia y el área de las vías inutilizadas del viejo Ferrocarril Urquiza fueran ocupadas por familias con viviendas precarias conformadas con materiales que encontraban.

En la mayoría de estos asentamientos, el suministro de agua potable es llevado a cabo por los mismos habitantes del lugar que, sin tener en cuenta los criterios específicos y normados para dichas conexiones, se acoplan a los tubos madre provocando

inconvenientes del servicio de agua al resto de la población. La falta de inversión pública en este tema, es un asunto pendiente, que a pesar de que la zona cuenta con una napa de agua abundante y de excelente calidad, las redes de tendido muchas veces colapsan.

El drenaje del agua de lavado de la cocina y la ropa se realiza mediante zanjas al costado de las calles. La falta de pavimento y las calles de tierra sin regar, hacen que los habitantes aplaquen el polvillo regando con el agua de las zanjas. Los elevados niveles de contaminación del agua de estos conductos, es esparcida por toda la calle, Estas zanjas conducen las aguas de desechos hacia terrenos linderos a los asentamientos, perjudicando otras zonas o áreas públicas y privadas que, contando con una red cloacal, se ven afectadas por olores nauseabundos y riesgos sanitarios.

El servicio de recolección de residuos domiciliarios es un tema pendiente en este tipo de población, ya que la no accesibilidad por el diagramado que presentan o la ilegalidad de su situación, no permite que se les suministre el correcto tratado de los mismos. Prácticamente las familias deposita los residuos generados por ellos mismos en terrenos no aptos, originando micro basurales.

Estos sectores depositarios de basura a cielo abierto, son generadores de microorganismos capaces de desarrollar enfermedades, promueven la presencia de vectores, olores e impactan el suelo con la percolación de los líquidos provenientes de los residuos constituidos por material orgánico, pilas, envases que han contenido insecticidas y pinturas en general. Además, en estos basurales ilegales los residuos son quemados con la finalidad de disminuir su volumen originando emisión de humo cuya pluma impacta en diferentes sectores de la comunidad, a la vez que impacta en un daño voraz a la fertilidad del suelo.

El cirujeo se ha convertido en una actividad común de la que ya nadie se asombra en este tipo de poblaciones y consiste en el acopio informal de todo tipo de elementos descartados por la sociedad: como chatarra, cartones, envases de vidrio y plástico, metales, etc. Esta actividad representa un factor de riesgo sanitario muy importante que, lejos de afectar solamente a los adultos encargados de esta tarea, involucra a los niños que empiezan a sentir a esta actividad como el único medio que les permitirá resolver uno de los principales problemas que enfrentan, “El Hambre”.

Aspecto legal

Hemos notado que las políticas habitacionales que se han aplicado hasta la actualidad se centraron en la regularización de los asentamientos ilegales, pero se ha hecho muy poco en controlar el inicio de estos. Una vez instalados el objetivo principal pasa a ser: cómo integrarlos a la comunidad. Si bien es cierto que la integración social genera mejor calidad de vida en los habitantes de los mismos, no queda claro cuáles son las políticas legales vigentes que prevengan la usurpación de tierras. La instalación irregular, sin duda, es más rápida que cualquier intento de planificación demográfica, y ésta a su vez, ante su delación, aumenta el crecimiento del impacto ambiental.

La ley 8912/77 de Ordenamiento territorial y uso de suelo regula el uso, ocupación, subdivisión y equipamiento del suelo en la Provincia de Buenos Aires, cuyos objetivos fundamentales están explicitados en su Artículo 2 inciso A “...asegurar la preservación y el mejoramiento del medio ambiente, mediante una adecuada organización de las actividades en el espacio”. Esta Ley establece además, que la responsabilidad del ordenamiento territorial recae en el nivel municipal y es obligatorio para cada partido como instrumento sectorial, entendiendo como ordenamiento territorial al proceso de planeamiento físico, conjunto de acciones técnico, política y administrativas para la

realización de estudios, la formulación de propuestas y la adopción de medidas específicas en relación con la organización de un territorio

La regularización de los asentamientos sugiere legalizar su ubicación, y brindarles los servicios necesarios que mejoren su condición lo cual implica tomar decisiones sobre terrenos que están limitados legalmente para su uso o para todo tipo de inserción poblacional.

En tiempos en que la pobreza extrema se transforma en exclusión, cuando las personas y hogares que están en esta situación social y económica carecen de oportunidades para salir de ella, la ubicación de sus viviendas en relación a la ciudad, es un factor que incide en el proceso de avance o retroceso de la misma.

El problema aparece cuando se intenta conocer con mayor detalle las características, estructura, evolución y operación de los asentamientos humanos con mayor pobreza en las ciudades. Este esfuerzo intelectual implica, contar con datos e información sobre las colonias.

Exclusión social y segregación espacial

Esta problemática lejos de disminuir, tiende a aumentar. Se ha observado un notable crecimiento de familias que han encontrado soluciones a su problema habitacional dentro de estos asentamientos. En este ámbito el tema cultural juega un importante papel, tan trascendente como el tema económico, mas aún la influencia cultural se va transmitiendo en las generaciones siguientes. Lo más probable es que en estas condiciones, se genere reproducción de la pobreza, y aún con programas de mejoramiento físico y social e integración, siga siendo un barrio pobre.

En cuanto a la política estatal o de origen comunitario ciertamente existentes, deberíamos diferenciar las formas asistencialistas tradicionales de las acciones generativas que promueven una activa participación y compromiso de los beneficiarios sin perjuicio de incrementar su autonomía.

Algunos de los asentamientos estudiados han sufrido intento de desalojos por parte de las autoridades, donde quedó en evidencia la clara disconformidad que los vecinos de las zonas linderas manifestaron ante el posible crecimiento de la población en los mismos.

Estos barrios no presentan una desocupación masiva pero sí un aumento creciente del empleo informal o precario, limitado por una residencia barrial negativa, así como encontramos una fuerte desocupación entre los jóvenes.

La propia configuración de los asentamientos ilegales lo sitúa en un reverso trágico y paradójico de los barrios cerrados. Aquí lo que prima no es ya una decisión de auto aislamiento de un entorno que se percibe como peligroso, típico de sectores de clase alta, contrariamente, el barrio se presenta diferenciado urbanísticamente como reflejo de su propia historia de apartamiento.

Si en un primer extremo de la sociedad encontramos una refinada arquitectura de la seguridad como refugio ante los efectos de la exclusión circundante. En zonas como los barrios villa irrumpen los remiendos de una arquitectura precaria que se debate entre la inseguridad, la exclusión y el rechazo.

La ruptura de lazos que ligaban al asentamiento con su exterior, dada la segregación urbanística y social, le da al lugar características de fuerte o refugio.

Los inmigrantes ilegales no sólo no cuentan con garantías que expresan aquellos umbrales, sino que lo jurídico actúa no ya como freno, sino como catalizador de la explotación. Por su parte la policía excede un papel represivo ante la transgresión efectiva del marco normativo y explota económicamente esta vulnerabilidad. Cuando más pobres son, más rechazados son y más probablemente tienden a convertirse en

ilegales. Ahora aparece el ilegal trabajando en negro, en condiciones a veces de esclavitud, apropiaciones ocasionales del salario prometido, que en todos los casos es inferior a los a los mínimos pagados a los nativos.

CONCLUSIONES

Se han determinado los puntos principales de asentamientos ilegales e informales y la manera en que los patrones de conducta social de estos sectores les permiten subsistir en un mundo en desarrollo permanente y veloz. La ciudad de Zárate, enfrenta serios problemas de radicación poblacional ilegal por usurpación de tierras fiscales y privadas que son parte fundamental de una cadena de impactos a la salud y al medio ambiente. La elevada fragilidad sanitaria de estos sectores, los convierte en los más vulnerables y propensos a enfermedades.

Es imperioso contar con un plan de radicación que comprenda las necesidades habitacionales de estos grupos sociales en un marco de ideas claras que definan un objetivo de organización y acciones a seguir a largo plazo.

Los hechos políticos y sociales ocurridos en los últimos años deben servir para enfrentar en forma inmediata y responsable, un programa que amortigüe las debacles económicas que obligan a un amplio sector poblacional ubicarse en lugares que no les son propios y que los ubica en un nivel de alto riesgo.

AGRADECIMIENTOS

A la Licenciada Alicia De Leon y al Ingeniero Patricio Cullen por su apoyo permanente e incondicional.

BIBLIOGRAFÍA

- BANCO MUNDIAL: Informe sobre Desarrollo Mundial (1994,1995)
- BIROCCO, C y CACCIATORE, L. 2007. Contaminación en el Riachuelo. Revista Ciencia Hoy Volumen 17 Número 101. ISSN 0327-1218
- BROWN, L. R. 1994. State of the World.
- CORTES CONDE, R. La Economía Argentina en el Largo Plazo, Sudamericana. Universidad de San Andrés.
- FERRER, A. 1996. Historia de la Globalización. Fondo de Cultura Económica.
- JOBAGY, E; NOSETTO, M; PARUELO, J. y PIÑEIRO, G. 2006. Agua y Forestaciones. Revista Ciencia Hoy Volumen 16 Número 95. ISSN 0327-1218.
- LUNA, F. 1994. Breve Historia de los Argentinos, Ed. Planeta.
- NUÑEZ, M. 2006. El Cambio Climático. Revista Ciencia Hoy Volumen 16 Número 96. ISSN 0327-1218.
- UNESCO: El correo: Agua escasa, agua cara. Febrero 1999.
- MEADOWS, D. and RANDERS, J. 1993. Más allá de los límites del crecimiento, ed. Aguilar, El Pais.
- PANADERO MOYA, M. Urbanización y Desarrollo Territorial en América Latina en el contexto de la crisis de los 80. Revista Interamericana de planificación, Volumen 22 Número 87-88, S.I.A.P., 30-42 pp.
- TOCQUEVILLE, A. 1980. La democracia en América. Ed. Alianza.
- TYLLER MILLER, G. 1994. Ecología y Medio Ambiente, Grupo Editorial Iberoamericano.

Cinética del metabolismo oxidativo en pulmón por exposición a contaminantes ambientales.

Time course study of the oxidative metabolism in lung mice after exposure to ambient particles.

Natalia Magnani¹; Timoteo Marchini¹; Déborah Tasat²; Silvia Alvarez¹ y Pablo Evelson*¹

¹ Cátedra de Química General e Inorgánica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, PRALIB-CONICET. Universidad de Buenos Aires. Junín 956 (1113) Buenos Aires. Argentina.

² Cátedra de Histología y Embriología Humana, Facultad de Odontología.
* pevelson@ffyba.uba.ar

RESUMEN

Los niveles de contaminantes atmosféricos en grandes urbes provocarían un aumento en la ocurrencia de diversas enfermedades, principalmente respiratorias como asma, bronquitis y otras alteraciones inmunológicas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la cinética del metabolismo oxidativo en pulmón de ratones expuestos a partículas ambientales. Se utilizó un modelo de exposición aguda mediante instilación intranasal (ROFA; 0.20 mg/kg peso). Las medidas se realizaron a una y tres horas luego de la instilación. La exposición a las partículas produjo aumentos en el consumo de oxígeno tisular del 77% luego de 1 h y del 23% a las 3 hs (control: 225 ± 7 ng-at O/min g tejido; $p < 0.01$). La producción de óxido nítrico en homogeneizados aumentó un 44% a las 3 hs (control: 0.74 ± 0.03 nmol NO/min mg prot; $p < 0.01$). El contenido de TBARS se incrementó un 24% a 1 h (control 249 ± 6 pmol/mg prot; $p < 0.01$), mientras que el contenido de carbonilos aumentó un 26% luego de 3 hs (control 2.3 ± 0.1 nmol/mg prot; $p < 0.01$). Con respecto a las enzimas antioxidantes, la actividad de superóxido dismutasa mostró un aumento del 26% a las 3 hs (control 4.3 ± 0.2 USOD/mg prot; $p < 0.01$), mientras que la catalasa no presentó diferencias. La capacidad antioxidante del tejido disminuyó un 36% a las 3 hs (control: 15 ± 1 μ M Trolox/mg prot., $p < 0.01$). Los resultados obtenidos muestran un aumento en el metabolismo oxidativo del pulmón que desencadenaría diferentes mecanismos moleculares de daño tisular.

Palabras claves: *contaminación ambiental; metabolismo oxidativo; pulmón.*

SUMMARY

The levels of air pollutants in big cities would lead to an increased occurrence of various diseases, mainly respiratory and asthma, bronchitis and other immunological disorders. The aim of this work is to study the time course of oxidative metabolism in lung mice after exposure to ambient particles. The experimental model was an acute exposure to particulate matter. Swiss mice were intranasally instilled (0.20 mg/kg body weight). Instillation with ROFA increased oxygen consumption by tissue cubes by 77% in lung after 1 h of exposure and by 23% after 3 h (control value: 225 ± 7 ng-at O/min mg tissue; $p < 0.01$). The production of nitric oxide by lung homogenates was significantly increased, by 44% (control value: 0.74 ± 0.03 nmol NO/min mg prot; $p < 0.01$) after 3 hs of exposure. TBARS levels in lung homogenates from animals instilled with ROFA showed a 29% increase after 1 h of exposure (control value: 249 ± 6 pmol/mg prot; $p < 0.01$), while a 26% increase in the carbonyl content was found after

3hs (control value: 2.3 ± 0.1 pmol/mg prot; $p < 0.01$). A significant increase in superoxide dismutase activity by 26% was found in lung homogenates after 3 hs of exposure (control value: 4.3 ± 0.2 U SOD/mg prot; $p < 0.01$), whereas catalase activity was not affected. Total reactive antioxidant potential values from lung homogenates after 3 hs of exposure were significantly lower, by 36%, than that obtained from control group (control: 15 ± 1 μ M Trolox/mg prot., $p < 0.01$). Results show an increase in the oxidative metabolism in the lung that might trigger different mechanisms of tissue injury.

Key words: air pollution; oxidative metabolism; lung

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud estima que la contaminación ambiental es responsable de al menos 3 millones de muertes prematuras cada año (Hoeck, 2001). Esta observación tiene particular importancia en los países emergentes que poseen economías en crecimiento, en los cuales las concentraciones de contaminantes ambientales han aumentado en forma consistente en los últimos años (Ware *et al.*, 2000).

En el último siglo, la incidencia de afecciones cardiorrespiratorias ha aumentado significativamente en la población como consecuencia de la industrialización, el incremento del parque automotor y hábitos como el fumar (Rusznak *et al.*, 1998). La contribución de contaminantes aéreos, generados como productos de la industrialización, ha sido atribuida tanto al material particulado en suspensión como a diversos gases (Nel *et al.*, 1998).

La contaminación ambiental está relacionada con el clima directa e indirectamente. El cambio climático puede afectar las exposiciones a los contaminantes ambientales de diferentes maneras: *a*) afectando el clima y por lo tanto, las concentraciones de los contaminantes locales y regionales, *b*) afectando las emisiones antropogénicas, que incluyen las respuestas adaptativas que involucran al incremento del uso de combustibles fósiles para la generación de energía, *c*) afectando las fuentes naturales de las emisiones de contaminantes y *d*) cambiando la distribución y los tipos de alérgenos del aire. Por otro lado, los patrones de clima locales influyen las reacciones químicas atmosféricas y pueden afectar los procesos de transporte en la atmósfera y la velocidad con la cual los contaminantes se distribuyen desde áreas urbanas a toda la región. Además, la composición química de la atmósfera puede influir directamente en el clima local. El material particulado podría inducir efectos adversos sobre la salud mediante procesos inflamatorios y estrés oxidativo.

Estudios epidemiológicos muestran un aumento en la morbilidad y mortalidad por diversas afecciones cardiorrespiratorias, asociadas a variaciones en la concentración de varios tipos de partículas ambientales en suspensión (Handzel, 2000 y Peden, 2001), especialmente en el caso de individuos susceptibles como niños, ancianos y personas con enfermedades cardíacas o respiratorias previas (Ostachuck *et al.*, 2008).

Los mecanismos mediante los cuales la exposición a partículas ambientales produce efectos deletéreos sobre la salud se encuentran bajo una investigación activa pero permanecen aún sin definir. Se acepta que las especies activas del oxígeno y del nitrógeno están involucradas en la respuesta inflamatoria inducida por el material particulado. Existe distinto tipo de evidencia experimental sobre su participación y de la ocurrencia de estrés oxidativo que se inicia en dicho proceso (Evelson *et al.*, 2008). El estrés oxidativo, definido como una situación de desequilibrio donde un exceso en la producción de oxidantes o una disminución en los niveles de antioxidantes, lleva a daño

celular y ha sido ampliamente reconocido como causa en procesos neurodegenerativos, inflamación y envejecimiento (Sies, 1985). En este sentido, se han estudiado las propiedades oxidantes *per se* que poseen las partículas ambientales (Hatzis *et al.*, 2006); los efectos oxidantes *in vitro* del material particulado sobre las células que participan en la respuesta inflamatoria (Fubini *et al.*, 2004) y los efectos proinflamatorios dependientes de oxidantes *in vivo* de las partículas ambientales (Rhoden *et al.*, 2004). Es por ello que el objetivo de este trabajo ha sido establecer la cinética del metabolismo oxidativo en el tejido pulmonar luego de la exposición a contaminantes ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo experimental

Ratones hembras de la cepa Swiss de 20-25 g fueron expuestos a partículas ambientales concentradas derivadas de la combustión del petróleo (ROFA, 0.2 mg/kg peso) (Ghio *et al.*, 2001) por un período variable de 1 a 3 horas (considerada como una exposición aguda). El tratamiento se realizó mediante una instilación nasal (Álvarez y Evelson, 2007), donde al animal levemente anestesiado se le colocan 50 μ L de una suspensión de las partículas en solución fisiológica en la cavidad nasal. El reflejo generado por la presencia de líquido en dicha cavidad provoca un movimiento inspiratorio que lleva a la inhalación de la solución en el 90% de los casos. A los animales control se les realizó el mismo procedimiento con solución fisiológica únicamente.

Medida del consumo de oxígeno en cortes de tejido

La determinación de la velocidad del consumo de oxígeno se realizó mediante una técnica polarográfica, utilizando un electrodo de oxígeno tipo Clark. Las medidas se realizaron en un medio de reacción compuesto por buffer Krebs (NaCl 117.5 mM, KCl 4.7 mM, KH_2PO_4 1.2 mM, MgSO_4 1.18 mM, CaCl_2 2.5 mM, NaHCO_3 25 mM, Glucosa 5.5 mM, pH 7.4), a 30° C con agitación continua. La velocidad del consumo de oxígeno se obtuvo a partir la variación de la concentración de oxígeno en la cámara de reacción en función del tiempo, al introducir en la misma cubos de 1 mm^3 de tejido cardíaco. Los resultados obtenidos fueron expresados como ng-át de O/min g tejido (Estabrook, 1967).

Preparación de homogeneizados

Luego de sacrificar a los animales, se les extrajo el pulmón (0.2 g) y se prepararon los homogeneizados en 5 volúmenes de buffer fosfato 30 mM, KCl 120 mM (pH 7.4) a 0-4° C. La suspensión resultante se centrifugó a 600 g durante 10 minutos para descartar los núcleos y restos celulares. El sobrenadante de dicha centrifugación se denomina “homogeneizado” (Evelson y González Flecha, 2000).

Determinación de la producción de óxido nítrico.

La producción de NO se evaluó en homogeneizados de tejidos mediante una técnica espectrofotométrica. La cinética de oxidación de la oxihemoglobina se determinó a 577-591 nm ($\epsilon = 11.2 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) a 30 °C y los cambios de absorbancia se expresan como nmol NO/ min. mg prot (Boveris *et al.*, 2002).

Determinación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)

Los TBARS se determinaron en homogeneizados de tejidos usando un método fluorométrico. A 1 mL de homogeneizado se le agrego butilhidroxitolueno (BHT) hasta una concentración final de 0.1% (P/V) y luego HCl 0.1 N, ácido fosfotúngstico 10%

(P/V) y ácido 2-tiobarbitúrico 0.7% (P/V). La mezcla se calentó durante 60 minutos en agua a ebullición. Posteriormente, los TBARS se extrajeron en 5 mL de n-butanol. Se realizó una breve centrifugación para separar las fases (butanólica y acuosa) y se midió la fluorescencia de la capa butanólica a 515-553 nm (λ_{exc} - λ_{em}). La concentración de TBARS se calculó a partir de una curva de calibración realizada con una solución patrón de 1,1,3,3-tetrametoxipropano. Los resultados se expresaron en nmol/ mg proteína (Yagi, 1976).

Determinación del contenido de carbonilos

La medida se utilizó como un marcador de la oxidación de proteínas. Los homogeneizados de tejido se incubaron con 2,4 dinitrofenilhidracina (DNPH 10 mM) durante 1h a temperatura ambiente y en oscuridad. Luego se agregó a las muestras ácido tricloroacético (TCA) 20% P/V, las cuales se incubaron en hielo durante 10 min y se centrifugaron durante 5 min a 1000 g para recolectar los precipitados proteicos. Los precipitados se lavaron una vez con TCA 10% P/V y luego 3 veces con una mezcla etanol: acetato de etilo (1:1). Los precipitados lavados se disolvieron en una solución de guanidina 6 M a 37 °C durante 10 min y se midió la absorbancia de las muestras a 360 nm ($\epsilon = 0,022 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Los resultados se expresaron en nmol carbonilos/mg proteína (Reznick y Packer, 1994).

Actividad de las enzimas antioxidantes

(a) Catalasa: Esta enzima descompone H_2O_2 en O_2 y H_2O en ausencia de dadores de hidrógeno. Su actividad se determinó en una espectrofotómetro UV-vis Jasco registrando el consumo de H_2O_2 a 240 nm ($\epsilon = 40 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) en un medio conteniendo buffer fosfato 50 mM (pH 7.0) y H_2O_2 10 mM. La actividad se expresó como pmol de catalasa/mg proteína. (Chance, 1954).

(b) Superóxido dismutasa: La actividad de superóxido dismutasa se determinó espectrofotométricamente determinando la inhibición de la velocidad de formación del adrenocromo a 480 nm (Misra y Fridovich, 1972) en un espectrofotómetro UV-vis Jasco. La determinación se llevó a cabo en un medio de reacción conteniendo epinefrina 1 mM, glicina-NaOH 50 mM (pH 10.0).

Determinación de la capacidad antioxidante total.

La determinación de la capacidad antioxidante total consiste en medir la capacidad atrapadora de radicales libres de una muestra en un sistema que está formado por el 2,2'-azo-bis-amidinopropano (ABAP) y el luminol. El sistema ABAP-luminol genera una emisión de luz constante, que puede medirse en un luminómetro. Al agregar una muestra que contiene antioxidantes, la quimioluminiscencia disminuye hasta niveles basales. Cuando los antioxidantes presentes en la muestra se consumen, la emisión retorna a los valores de luminiscencia originales. El tiempo que tarda en retornar a la emisión original (tiempo de inducción, τ_i) es directamente proporcional a la cantidad de antioxidantes presentes en la muestra. Para la medida se determinó, como primer paso, la luminiscencia del sistema ABAP-luminol. Luego de obtener una lectura constante, se agregó una determinada cantidad de homogeneizado de tejido. Se midió la emisión y se determinó el tiempo de inducción, τ_i para cada muestra. La curva de calibración se realiza con Trolox 150 μM (análogo hidrosoluble de la vitamina E). Los resultados están expresados en μM de unidades Trolox. Se define una unidad como la cantidad de antioxidante equivalente a 1 μM de Trolox (Evelson *et al.*, 2001).

Concentración de proteínas

La concentración de proteínas fue determinada espectrofotométricamente por el método de Lowry (Lowry, 1951), utilizando albúmina de suero bovino como estándar.

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como valor medio \pm SEM, y representan la media de al menos cuatro experimentos independientes. ANOVA seguido del test de Dunnet se utilizó para analizar las diferencias entre valores de más de dos grupos. Se consideraron diferencias significativas a partir de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Análisis del metabolismo oxidativo.

Se estudiaron los cambios en el metabolismo oxidativo del pulmón, mediante el consumo de oxígeno en tejido y la producción de óxido nítrico.

La exposición a las partículas produjo aumentos significativos en el consumo de oxígeno de tejido del 77% luego de 1 hora y del 23% a las 3 horas (control: 225 ± 7 ng-at O/min. g tejido, $p < 0.01$). En cuanto a la producción de NO en homogeneizados se observó un aumento significativo a las 3 horas (control: 0.74 ± 0.03 nmol NO/min mg prot; ROFA 3 horas 1.1 ± 0.1 nmol NO/min mg prot; $p < 0.01$). (Figura. 1)

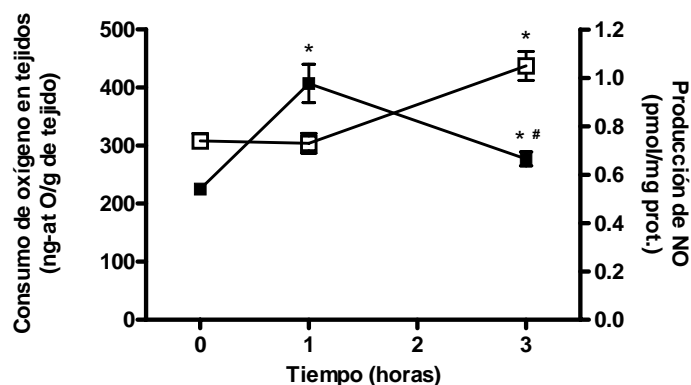


Figura 1: Consumo de oxígeno de tejido (\square) y producción de NO en homogeneizado de pulmón (\blacksquare) luego de la exposición a ROFA. * $p < 0,005$ vs control; # * $p < 0,005$ vs 1 hora.

Evaluación de la actividad de enzimas antioxidantes.

Con respecto a los niveles de las defensas antioxidantes, la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) mostró un aumento significativo a las 3 horas (control 4.3 ± 0.2 USOD/mg prot; ROFA 3 horas 5.4 ± 0.3 USOD/mg prot; $p < 0.01$). La actividad de catalasa de ambos tiempos no presentó diferencias significativas. Los valores de TRAP mostraron una disminución del 36% a las 3 horas (control: 15 ± 1 μ M Trolox/mg prot., $p < 0.01$). (Tabla 1).

Tabla 1. Actividad de las enzimas antioxidantes, superóxido dismutasa (SOD) y catalasa; y niveles de TRAP en homogeneizados de pulmón de ratones expuestos a ROFA. * $p < 0.005$ vs control.

| | Control | ROFA1 hr | ROFA3 hr |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| SOD (USOD/mg prot.) | 4,3 ± 0,2 | 4,8 ± 0,3 | 5,4 ± 0,3* |
| Catalasa (pmoles/mg prot.) | 1,05 ± 0,05 | 0,90 ± 0,15 | 0,96 ± 0,08 |
| TRAP (μM Trolox/mg prot.) | 14,8 ± 1,0 | 16,8 ± 1,2 | 9,4 ± 1,2* |

Estudio del daño oxidativo a macromoléculas.

Para los estudios de daño a macromoléculas se analizaron lípidos (contenido de TBARS) y proteínas (contenido de carbonilos). Los resultados observados en estos ensayos estarían relacionados con diferencias en la cinética de daño a lípidos y proteínas, ya que, se observó un aumento del 24% en los niveles de TBARS a corto plazo (grupo control: 249 ± 6 pmol/mg prot.; $p < 0.01$) (Fig. 2), en tanto que el contenido de carbonilos mostró un aumento del 26% 3 horas luego de la exposición (control 2.3 ± 0.1 nmol/mg prot.; $p < 0.01$) (Fig. 3). La generación de especies oxidantes junto con la disminución en los niveles de defensas antioxidantes sugiere la ocurrencia de estrés oxidativo moderado, lo que generaría el daño a macromoléculas.

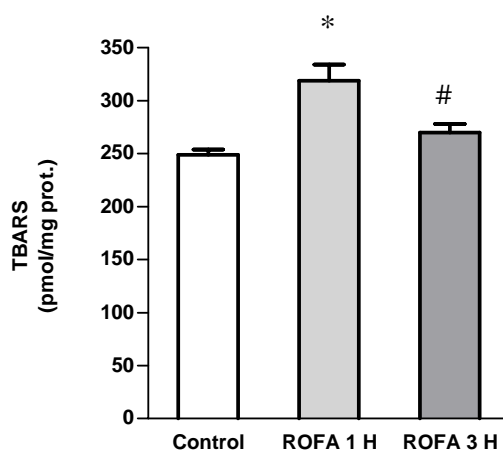


Figura 2. Niveles de TBARS en homogeneizados de pulmón luego de la exposición a ROFA. * $p < 0,005$ vs control; #,* $p < 0,005$ vs 1 hora.

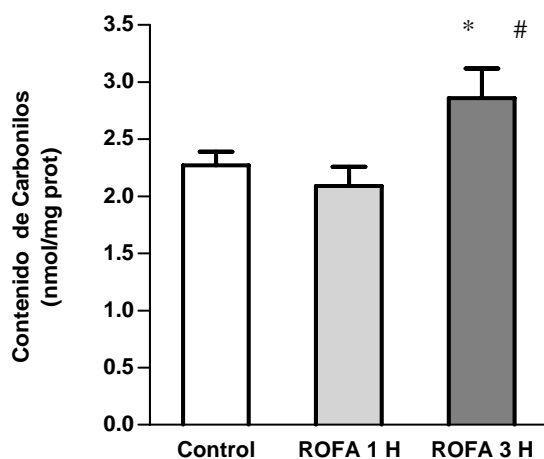


Figura 3. Contenido de Carbonilos en homogeneizados de pulmón luego de la exposición a ROFA. * $p < 0,005$ vs control; #, * $p < 0,005$ vs 1 hora.

DISCUSIÓN

Los efectos adversos de la contaminación ambiental sobre el sistema respiratorio han sido establecidos en numerosos estudios epidemiológicos. Aún en los casos de exposiciones cortas a diversos contaminantes ambientales, se han registrado marcados aumentos en la morbilidad y mortalidad asociadas al sistema cardiorrespiratorio (Mann *et al.*, 2002). Las evidencias existentes son muy consistentes y sostienen la hipótesis de que la contaminación ambiental, especialmente la producida por el tráfico vehicular, produce enfermedades cardiorrespiratorias. Sin embargo, los datos que proveen estos estudios epidemiológicos son limitados debido a que no definen los mecanismos por los cuales la polución media los efectos adversos observados.

La inhalación de contaminantes particulados produce una respuesta inflamatoria en el pulmón. La activación de células inflamatorias promueve la liberación de citoquinas y otros mediadores que, junto con diversos metales (como Fe, Va, Mn, Co, Ni y Cu) y compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, PHAs) que forman parte de las partículas estudiadas (Li *et al.*, 2003). Esto provocaría un aumento en la producción de especies activas del oxígeno y del nitrógeno por distintos mecanismos.

Los residuos inorgánicos derivados de la combustión incompleta del petróleo contribuyen significativamente a la fracción particulada de los contaminantes ambientales. En este estudio se utilizaron “*residual oil fly ashes*” (ROFA, por sus siglas en inglés) para evaluar los efectos del material particulado en el pulmón. Dada la composición única de las estas partículas, especialmente ricas en metales, han sido ampliamente utilizadas como modelo de contaminante ambiental particulado en numerosos estudios biológicos. Trabajos previos sugieren que otros tipos de partículas ambientales siguen un mecanismo de acción similar al de ROFA, involucrando reacciones de fosforilación intracelular, activación de factores de transcripción, inducción de la expresión de mediadores inflamatorios, daño inflamatorio, entre otros (Ghio, 2002).

En condiciones fisiológicas, la mitocondria es responsable del 90% del oxígeno consumido por un tejido. La determinación del consumo de oxígeno en cortes de tejido puede considerarse como un primer acercamiento para evaluar la ocurrencia de alteraciones mitocondriales. El aumento del consumo de oxígeno observado en los animales expuestos a ROFA 1 y 3 horas luego del tratamiento podría deberse a alguna alteración a nivel de la cadena respiratoria mitocondrial, aunque tampoco deberían descartarse

otros sistemas que pueden contribuir a este aumento, como la actividad de la enzima NADPH oxidasa. Dicha alteración parecería ser reversible dado que, luego del marcado aumento observado luego de una hora de tratamiento, los niveles del consumo de oxígeno del tejido muestran una tendencia a retornar a los valores correspondientes para los animales control a las tres horas posteriores a la instilación.

El NO es un regulador fisiológico de la cadena respiratoria a varios niveles. Es sintetizado en células de mamíferos a través de la reacción catalizada por las óxido nítrico sintasas (NOS), donde la oxidación de L-arginina produce NO y L-citrulina (Alderton y col, 2001). Las isoformas clásicas son: la NOS neuronal (nNOS), la endotelial (eNOS), y la inducible (iNOS). La iNOS es la principal responsable del aumento en la producción de NO en respuesta a síndromes inflamatorios (Pacher y col, 2007). El aumento de la producción de NO, trascurridas 3 horas de la exposición a ROFA, indicaría que las alteraciones del metabolismo oxidativo observadas en el pulmón podrían deberse a una respuesta inflamatoria, donde el óxido nítrico cumple un rol importante.

Los marcadores de daño a macromoléculas mostraron una diferencia temporal, dado que se observó un aumento en la peroxidación lipídica a corto plazo, en tanto que el daño oxidativo a proteínas resultó significativo luego de 3 horas. Estos cambios concuerdan con la distinta susceptibilidad que presentan estas macromoléculas al daño oxidativo.

Con respecto a los niveles de antioxidantes, se ha observado una disminución en los valores de TRAP (que evalúa los cambios en los antioxidantes hidrosolubles de bajo peso molecular) y un aumento en la actividad de la enzima superóxido dismutasa. Esta última observación podría deberse a una respuesta adaptativa, ya que un aumento en la expresión y en la actividad de la enzima puede prevenir los daños en tejido pulmonar generado por los metales de transición presentes en la fracción particulada de contaminación ambiental. (Ghio *et al.*, 2002). Este tipo de respuesta ha sido observada en otros modelos experimentales, donde el pulmón ha sometido a una situación de estrés oxidativo moderado (Evelson y González Flecha, 2000).

La generación de especies oxidantes junto con la disminución en los niveles de defensas antioxidantes sugiere la ocurrencia de estrés oxidativo moderado luego de la exposición a partículas de contaminación ambiental. Estos cambios pueden producir la activación de vías de señalización celular que llevan a la activación de factores de transcripción específicos y la subsiguiente secreción de mediadores proinflamatorios y otras señales que pueden derivar en la ocurrencia de apoptosis (Schins *et al.*, 2004).

La inhalación de partículas ambientales induce una respuesta inflamatoria que produce estrés oxidativo y un aumento en la producción de óxido nítrico, lo que produciría el daño observado a macromoléculas. Estos cambios podrían contribuir al aumento de morbilidad y mortalidad observado en grandes urbes debido a la contaminación ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con subsidios de la Universidad de Buenos Aires (B107) y CONICET (PIP 6320).

BIBLIOGRAFÍA

ALDERTON, W.K.; COOPER C.E. y KNOWLES R.G. 2001. Nitric oxide synthases: Structure, function and inhibition. *Biochemical Journal* 357 (3): 593-615.

- ALVAREZ, S. y EVELSON, P. 2007 Nitric oxide and oxygen metabolism in inflammatory conditions: Sepsis and exposition to polluted ambients. *Front Biosci* 12: 964-974.
- ALDERTON, W.; COOPER, C. y KNOWLES, R. 2001. *Biochem J* 357:593-615.
- BOVERIS, A. y CADENAS, E., 2000. Mitochondrial production of hydrogen peroxide regulation by nitric oxide and the role of ubisemiquinone. *IUBMB Life* 50 245–250.
- BOVERIS, A.; LORES-ARNAIZ S; BUSTAMANTE J; ALVAREZ S; VALDEZ L; BOVERIS, A. y NAVARRO, A., 2002. Pharmacological regulation of mitochondrial nitric oxide synthase. *Methods in Enzymology* 359: 328-339.
- CHANCE, B. 1954. Special methods: catalase. Glick, R.(Ed.) Interscience, New York, pp 408-424.
- ESTABROOK, R. 1967. Mitochondrial respiratory control and the polarographic measurements of ADP:O ratios. *Methods in Enzymology* 10: 41-47.
- EVELSON, P. y GONZÁLEZ FLECHA B. 2000. Time course and quantitative analysis of the adaptive responses to 85% oxygen in the rat lung and heart. *BBA-Gen Subjects* 1523: 209-216.
- EVELSON, P.; TRAVACIO, M.; REPETTO, M.; ESCOBAR, J.; LLESUY, S. y LISSI. E., 2001. Evaluation of total reactive antioxidant potential (TRAP) of tissue homogenates and their cytosols. *Arch Biochem Biophys.* 388: 261-266.
- EVELSON, P.; TASAT D., y ALVAREZ, S. 2008. Air pollution, inflammation and oxidative stress. En “*Free Radical Pathophysiology*” Editado por Silvia Alvarez, Pablo Evelson y Alberto Boveris. Editora Research Signpost, India. Pág 237-254.
- FUBINI, B; FENOGLIO, I; CESCINO, R.; GHIAZZA, M.; MARTRA, G.; TOMATIS, M.; BORM, P.; SCHINS, R. y BRUCH. J., 2004. Relationship between the state of the surface of four commercial quartz flours and their biological activity in vitro and in vivo. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 207: 89-104.
- GHIO, A.; SILBAJORIS, R.; CARSON, J. y SAMET, J. 2002. Biologic effects of oil fly ash. *Environ. Health Perspect.* 110: 89-94.
- HANDZEL, Z., 2000. Effects of environmental pollutants on airways, allergic inflammation, and the immune response. *Rev Environ Health* 15: 325-336.
- HATZIS, C.; GODLESKI, J.; GONZÁLEZ-FLECHA, B.; WOLFSON, J. y KOUTRAKIS, P. 2006. Ambient particulate matter exhibits direct inhibitory effects on oxidative stress enzymes. *Environ Sci Technol* 40: 2805-2811.
- HOEK, G.; FISCHER, P.; VAN DEN BRANDT, P.; GOLDBOHM, S. y BRUNEKREEF, B. 2001. Estimation of long-term average exposure to outdoor air pollution for a cohort study on mortality. *J Expo Anal Env Epid* 11: 459-469.
- LI, N.; SIOUTAS, C.; CHO, A.; SCHMITZ, D.; MISRA, C.; SEMPFF, J.; WANG, M.; OBERLEY, T.; FROINES, J. y NEL, A. 2003. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environ. Health Perspect.* 111: 455-460.
- LOWRY, O.; ROSEBROUGH, A.; FARR, A. y RANDALL, R. 1951. Protein measurement with the phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275.
- MANN, J.; TAGER, I.; LURMANN, F.; SEGAL, M.; QUESENBERRY, C.; LUGG, M.; SHAN, J. y VAN DEN EEDEN, S. 2002 Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease in persons with congestive heart failure or arrhythmia. *Environ Health Persp* 110: 1247-1252.
- MISRA, H, y FRIDOVICH, I. 1972. *J. Biol. Chem.* 247: 3170-3175.
- NEL, A.; DIAZ-SANCHEZ D; HIURA, T. y SAXSON A. 1998. Enhancement of allergic inflammation by the interaction between diesel exhaust particles and the immune system. *J Allergy Clin Immun* 102: 539-545.

- OSTACHUK, A.; EVELSON, P.; MARTIN, S.; DAWIDOWSKI, L.; YAKISICH, S. y TASAT, D. 2008. Age-related lung cell response to urban Buenos Aires air particle soluble fraction. *Environ Res.* 107: 170-177.
- PACHER, P.; BECKMAN, J. y LIAUDET, L. 2007. Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. *Physiol Rev* 87: 315-424.
- PEDEN, D. 2001. Air pollution in asthma: Effect of pollutants on airway inflammation. *Ann Allerg Asthma Im* 87: 12-17.
- REZNICK, A. y PACKER, E. 1994. Oxidative damage to proteins: Spectrophotometric method for carbonyl assay. *Meth. Enzymol.* 233: 357-363.
- RHODEN, C.; LAWRENCE, J.; GODLESKI, J. y GONZÁLEZ-FLECHA, B. 2004. N-acetylcysteine prevents lung inflammation after short-term inhalation exposure to concentrated ambient particles. *Toxicol Sci* 79: 296-303.
- RUSZNAK, C.; DEVALIA, J. y DAVIES, R. 1994. The impact of pollution on allergic disease. *Allergy* 49: 21-23.
- SCHINS, R.; LIGHTBODY, J.; BORM, T.; SHI, K.; DONALDSON, T. y STONE, V. 2004. Inflammatory effects of coarse and fine particulate matter in relation to chemical and biological constituents. *Toxicol Appl Pharm* 184: 1-11.
- SIES, H. 1985. Oxidative stress: Introductory remarks, in: H. Sies (Ed.), Oxidative stress. *Academic Press*. San Diego. USA. pp. 1-7.
- SHIVA, S.; OH, J.; LANDAR, A.; ULASOVA, E.; VENKATRAMAN, A.; BAILEY, S. y DARLEY-USMAR, V. 2005. Nitroxia: The pathological consequence of dysfunction in the nitric oxide-cytochrome c oxidase signaling pathway. *Free Radical Bio Med* 38: 297-306.
- WARE, J. 2000. Particulate air pollution and mortality - Clearing the air. *New Engl J Med* 343: 1798-1799.
- YAGI, K., 1976. A simple fluorometric assay lipoperoxide in blood plasma. *Biochem. Med.* 15: 212-216.

Impacto Biológico Adverso sobre las Vías Respiratorias Inducido por Material Particulado Proveniente de Sedimentos del Río Reconquista

Adverse biological impact on Airways induced by particulate matter of Sediment Samples from the Reconquista River

Sebastián Ariel Ferraro¹, Gustavo Curutchet¹ y Deborah Ruth Tasat*^{1,2}

¹ Centro de Estudios de Salud y Medio Ambiente, Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Martín. Av. General Paz 5445 (1650), San Martín, Buenos Aires.

² Cátedra de Histología y Embriología, Facultad de Odontología, Universidad de Buenos Aires. Marcelo T. de Alvear 2142 (C1122AAH), Capital Federal, Buenos Aires.

*dtasat@gmail.com

RESUMEN

El Río Reconquista es uno de los cursos de agua más contaminados de la Argentina. Durante períodos de sequía expone extensas superficies de sedimentos contaminados, aumentando notablemente la bioaccesibilidad de metales pesados y facilitando la transferencia hacia la atmósfera de partículas de pequeño tamaño, pudiendo impactar en el sistema respiratorio de la población que habita en la ribera.

Las partículas provenientes de sedimentos del río Reconquista (MP-RR) se caracterizaron por microscopía electrónica de barrido, EDAX y extracción secuencial BCR. Se encontraron partículas de tamaño y forma heterogénea, teniendo el 83% un diámetro menor o igual a 10 μm (PM₁₀). Su composición mostró Cu, Co, Fe, Ni, Zn, Ag, Cr, Mn, Cd y Pb, encontrándose todos menos Cd y Pb en cantidades superiores a los valores guía de la Ley nacional de residuos peligrosos 24051, y presentando alta bioaccesibilidad.

Se evaluó el impacto biológico de MP-RR *in vivo* sobre las vías respiratorias de ratones BALB/c (n=20), y *ex vivo* en células provenientes de lavado broncoalveolar. Se diseñaron cuatro grupos experimentales: controles sin tratamiento (C), sensibilizados con ovalbúmina (S) (simulando dificultad respiratoria), expuestos vía intranasal a MP-RR (PM) y sensibilizados y expuestos a MP-RR (S+PM). *In vivo*, la exposición a MP-RR provocó aumento significativo en el número total de células (primordialmente PMN) y en el porcentaje de O₂⁻. Los animales del grupo S+PM además presentaron un aumento en los niveles de IL-6 y TNF, y disminución en la actividad de la SOD. *Ex vivo* se observó que los metales bioaccesibles presentes en la partícula provocaron una generación de anión superóxido e inducción de apoptosis en forma similar a MP-RR.

Concluimos que MP-RR provoca un efecto biológico adverso exacerbado en animales con dificultades respiratorias previas., asociado principalmente a los metales presentes en la partícula.

Palabras claves: Río Reconquista, material particulado, vías respiratorias

SUMMARY

Reconquista River is one of the most polluted water courses in Argentina. Its flooding plain remains dry on the low water seasons, raising the heavy metals bioavailability and allowing particulate matter (PM) from the dry sediments to move to the atmosphere and target the airways of people living on the Reconquista's bank.

We characterized Reconquista River PM (RR-PM) morphologically by SEM and chemically using EDAX and a BCR sequential extraction procedure. We identified

particles of different size and form, an 83 % of them being equal or smaller than 10 μm . Their elemental composition had Cu, Co, Fe, Ni, Zn, Ag, Cr, Mn, Cd y Pb, all except Cd and Pb in higher levels than the imposed by the National Regulation of Dangerous Residues (Law 24051), and presenting high bioavailability.

In this work we studied the biological effect of RR-PM *in vivo* on the airways of healthy BALB/c mice (C), intranasally exposed to RR-PM (PM), sensibilised with ovalbumin (S) (emulating a previous disease) and intranasally sensibilized and exposed to RRPM (S+PM) (n=5 per group). *In vivo*, RR-PM rose the total cell number, mainly the polymorphonuclear (PMN) population, and the generation of reactive oxygen species (particularly O_2^-). Moreover, sensibilized animals exposed to RR-PM augmented proinflammatory mediators levels (specifically IL-6 and TNF) and SOD activity was partially impaired falling by half even when compared to the control group. *Ex vivo* we observed that the soluble fraction of bioavailable metals present in the particle provoked generation of reactive oxygen species (O_2^-) and induction of apoptosis like RR-PM.

Thus we conclude that RRPM provokes adverse biological impact on the airways, which is largely aggravated in previously sensibilised animals, associated mainly to the bioavailable metals present in RR-PM.

Key words: Reconquista river, particulate matter, airways

INTRODUCCIÓN

El Río Reconquista es uno de los cursos de agua mas contaminados de la Argentina y, dada su característica de atravesar zonas densamente pobladas, presenta serios conflictos en cuanto a la calidad de sus aguas y sedimentos. Su llanura de inundación permanece seca durante períodos de sequía (invierno y verano) produciéndose oxidación de los sulfuros y de la materia orgánica presentes en el sedimento y aumentando notablemente la bioaccesibilidad de los metales pesados. Se ha demostrado que son los metales (plomo, níquel, vanadio, zinc, hierro, etc.) adsorbidos a las partículas los responsables en gran medida producir efectos tóxicos, mutagénicos y carcinogénicos sobre el tejido pulmonar (Lewtas, 1993; Dreher *et al.*, 1996). Los vientos de la zona facilitan la transferencia hacia la atmósfera de partículas de pequeño diámetro presentes en los sedimentos secos, siendo el sistema respiratorio de la población que habita en la ribera uno de los principales blancos. La población expuesta al material particulado no se ve afectada de la misma manera, existen grupos de mayor riesgo en los cuales los efectos adversos causados por el material particulado son más drásticos (Tasat *et al.*, 2008). Por tanto, siendo el material particulado proveniente de los sedimentos del Río Reconquista (MP-RR) el nexo entre la salud de los habitantes de la ribera y la contaminación ambiental, y no habiéndose reportado estudios sobre los efectos biológicos del MP-RR, este trabajo pretende evaluar la exposición *in vivo* de animales sanos o con enfermedades respiratorias previas (utilizando un modelo de inflamación pulmonar) al MP-RR para determinar su potencial toxicidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección del material particulado

El material particulado proveniente de la fracción más superficial del sedimento del Río Reconquista (profundidad no mayor a 5 cm, factible de ser dispersado por el viento) se recolectó en recipientes plásticos y se almacenó en frío a 4°C. Las muestras se trasladaron en condiciones de frío y oscuridad a los laboratorios que dispone la Escuela de Ciencia y Tecnología en el Quonset 23 del INTI. A fin de prevenir la alteración de

las características de las muestras, éstas se analizaron dentro de las 96 hs post-recolección.

Morfología y composición química de las partículas del sedimento del río Reconquista (MP-RR)

La morfología y composición química de las partículas del sedimento se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y análisis de Energía Dispersiva de rayos X (EDAX) acoplado al MEB. El estudio se llevó a cabo empleando el equipamiento del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), INTI, Edificio número 14, Av. General Paz 5445 (1650).

Extracción, determinación y cuantificación de metales presentes en MP-RR

Los metales presentes en las partículas se extrajeron a partir de muestras secas de sedimentos del Río Reconquista (MP-RR) siguiendo el protocolo de extracción secuencial BCR (Community Bureau of Reference) estandarizado por la EPA (Environmental Protection Agency, EE.UU) (Kartal *et al.*, 2005). De la primera y segunda extracción se obtienen los metales intercambiables bioaccesibles, y los de la tercera y cuarta extracción corresponden a metales no bioaccesibles. Los elementos químicos presentes se determinaron y cuantificaron por espectroscopía de absorción atómica (EAA) utilizando un espectrofotómetro Perkin-Elmer.

Animales

Se utilizaron ratones BALB/c machos jóvenes (3 meses de edad) procedentes del bioterio de la Universidad de Buenos Aires. Los animales recibieron comida y agua ad libitum y fueron mantenidos en el bioterio del Centro de Estudios en Salud y Medio Ambiente (CESyMA) en condiciones de luz y temperatura controladas.

Sensibilización

Los animales se inyectaron vía intraperitoneal (i.p.) una vez por semana, durante dos semanas consecutivas con una solución de 20 µg de Ovoalbúmina y 2 mg de Aluminio en 0.2 mL PBS (figura 1). Siete días luego de la última inoculación, se desafiaron por vía aérea con Ovoalbúmina 3% en PBS (aerosol, 10 minutos) durante tres días consecutivos (Hamada *et al.*, 2003; Fenoy *et al.*, 2009).

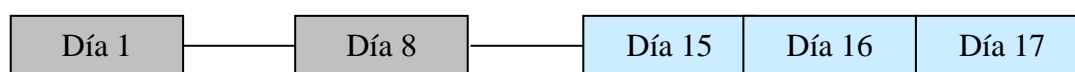


Figura 1. Esquema de sensibilización. ■: Inoculación Intraperitoneal □: Desafío por vía aérea

Exposición in vivo al material particulado

Los ratones BALB/c sanos o previamente sensibilizados con ovalbúmina se instilaron con el material particulado en forma intranasal, según la metodología descrita por Southam *et al.* (2002). Quedaron conformados cuatro grupos experimentales: controles sin tratamiento (C), expuestos a MP-RR (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a MP-RR (S+PM). El protocolo de exposición subaguda requirió tres exposiciones diarias (Martín *et al.*, 2007) (MP-RR 0.1 mg/mL PBS) como se muestra en la figura 2.

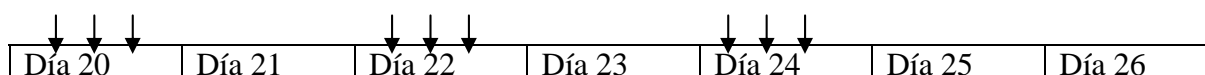


Figura 2. Esquema de Exposición a MP-RR. Cada flecha representa una dosis. Los días son consecutivos a la sensibilización. Los animales se sacrificaron 1 h después del tratamiento, y las células pulmonares fueron obtenidas por técnica de lavado broncoalveolar (BAL)

Recuento de células totales (RCT) y diferencial (RCD)

El recuento total de macrófagos obtenidos en el lavado broncoalveolar (BAL) se realizó en cámara de Neubauer. A partir del BAL se realizaron extendidos celulares que se fijaron con metanol y colorearon con Hematoxilina-Eosina. Esta técnica permite distinguir las diferentes poblaciones celulares presentes en el BAL: macrófagos alveolares (MA), polimorfonucleares (PMN) y linfocitos.

Determinación de la generación anión superóxido (O_2^-)

La producción de anión superóxido intracelular, una de las principales especies reactivas del oxígeno (ROS), se estudió mediante el test del Nitrozul de tetrazolio (NBT) (Segal, 1974; Molinari *et al.*, 2000).

Determinación de producción de interleuquina 6 (IL-6) y factor de necrosis tumoral (TNF)

Los niveles de IL-6 se cuantificaron en el suero de animales controles y tratados, mientras que la producción de TNF se cuantificó en el sobrenadante del primer lavado broncoalveolar de estos animales. Ambas determinaciones se hicieron por ELISA, empleando kits comerciales (BD Biosciences-Pharmingen, San Diego, California, EEUU).

Determinación de antioxidantes: catalasa y superóxido dismutasa

Las determinaciones de los antioxidantes catalasa y superóxido dismutasa (SOD) se realizaron en homogeneizados de pulmón de animales controles y expuestos. El fundamento para la determinación de catalasa reside en el consumo de H_2O_2 . Su desaparición es evaluada por la absorbancia de la muestra a 240 nm (Maehly y Chance, 1954). La enzima superóxido dismutasa (SOD) es capaz de inhibir la oxidación de la adrenalina a adenocromo, reacción que puede medirse a 460 nm (Evelson *et al.*, 1997). En ambos ensayos, los resultados se relativizaron los resultados respecto de las proteínas de la muestra, determinadas por el método de Lowry *et al.*, (1955).

Análisis ex vivo de la generación de anión superóxido e inducción de la apoptosis

A fin de identificar si los metales “bioaccesibles” presentes en las partículas son los principales responsables de la generación de anión superóxido (O_2^-) y/o de inducir muerte celular, células provenientes de BAL (0.35×10^6 células/mL RPMI-1640) de ratones sanos fueron expuestas a distintos tratamientos durante 1 hs a 37°C:

- 1) **MP-RR.**
- 2) **MP-RR Tratado** con EDTA (0.1 M, pH=5), a fin de secuestrar los metales adsorbidos a las mismas.
- 3) **FMS** (fracción metálica soluble “bioaccesible” o FMS resultante del tratamiento 2).
- 4) **RPMI** (control 1).
- 5) **EDTA** (0.1 M, pH=5) + RPMI (control 2).

La generación de anión superóxido se evaluó mediante el test del Nitrozul de tetrazolio (NBT) (Martín *et al.*, 2007; Segal, 1974).

Para evaluar apoptosis, la detección de características morfológicas de este proceso, como picnosis y/o fragmentación nuclear (Kerr, 1972) se observaron mediante microscopía óptica con Hoechst 33258 (Ostachuk *et al.*, 2008). Inmunocitoquímicamente se utilizaron anticuerpos específicos contra caspasa-3 y Poli (ADP-Ribosa) polimerasa (PARP), marcadores de este proceso celular.

Análisis Estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como sus valores medios \pm el error estándar (ES). El tratamiento estadístico se realizó mediante prueba de ANOVA (análisis de varianza) para revelar la existencia de diferencias significativas ($p < 0.001$).

RESULTADOS

Se observó una marcada heterogeneidad en el tamaño, morfología y composición química de las partículas. Pudieron diferenciarse matrices y aglomerados de tamaño mayor a PM_{10} y partículas menores o iguales a PM_{10} (partículas gruesas), a veces formando aglomerados o asociadas a matrices de forma irregular y mayor tamaño. Estas estaban compuestas principalmente de aluminosilicatos, trazas de hierro (Fe) y magnesio (Mg) (figura 3)

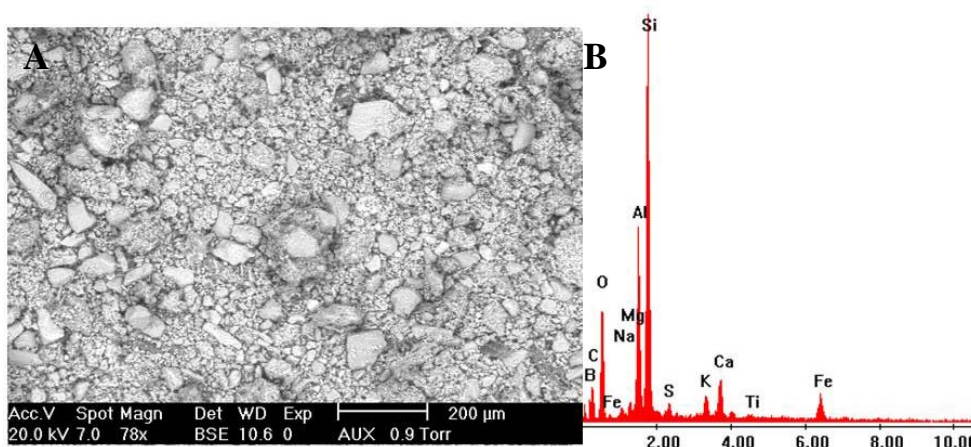


Figura 3. A. Microscopía electrónica de barrido (MEB) de MP-RR. Se observa heterogeneidad morfológica representada por matrices y aglomerados de partículas de gran tamaño ($> PM_{10}$), partículas gruesas (PM_{10}) y finas ($PM_{2.5}$). Magnificación=78 X, escala=200 μm . B. Análisis de energía dispersiva de rayos X (EDAX): composición química característica de MP-RR representada mediante espectros de energía (intensidad de pico en función de energía en KeV).

Mediante la extracción secuencial BCR se determinó que la partícula contenía Cu (401 mg/kg sedimento), Co (54.3 mg/kg sedimento), Fe (>1250 mg/kg sedimento), Ni (38.5 mg/kg sedimento), Zn (>1250 mg/kg sedimento), Ag (36.2 mg/kg sedimento), Cr (263.5 mg/kg sedimento), Mn (1058.5 mg/kg sedimento), Cd (3,5 mg/kg sedimento) y Pb (325 mg/kg sedimento). A excepción de Ni, Cd y Pb, el resto se encontró en la fracción intercambiable y bioaccesible en cantidades superiores a los niveles de valores guía de la Ley nacional de residuos peligrosos 24051 (decreto 831/93). Cabe destacar que aunque el Ni, Cd y Pb no superaron los niveles establecidos, son reconocidos metales pesados tóxicos para el medioambiente y la salud humana.

En la figura 4 se grafica el RCT, pudiéndose observar que la acción de MP-RR provocó, en comparación con los controles, un reclutamiento celular mayor. El incremento en el RCT de los animales expuestos a MP-RR es dos o tres veces mayor que en el caso de los controles (**PM** = $13.7 \times 10^5 \pm 0.6 \times 10^5$ vs. **C** = $4 \times 10^5 \pm 0.5 \times 10^5$; $P < 0.001$). Las partículas del río Reconquista provocan también, en animales sensibilizados, un aumento en RCT con respecto a sus controles (**S+PM** = $14.6 \times 10^5 \pm 0.9 \times 10^5$ vs. **S** = $6.1 \times 10^5 \pm 1 \times 10^5$; $P < 0.001$). Cabe notar que el incremento del número de células del BAL causado por el MP-RR es independiente de la condición de las vías aéreas ya que no se encontraron diferencias significativas entre los grupos **PM** y **S+PM**.

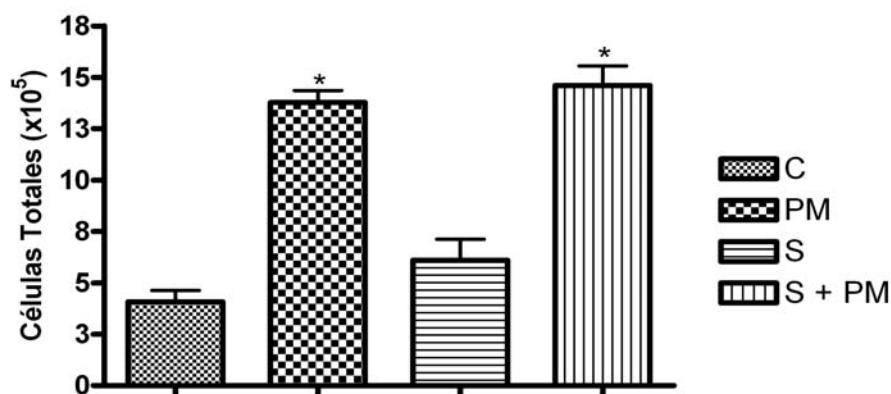


Figura 4. Recuento de células totales (RCT). Efecto del MP-RR sobre el número de células totales de BAL. Controles (C), expuestos al material particulado (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a PM (S+PM). Cada barra representa la media \pm ES, n=5. Los experimentos se realizaron por triplicado.* = $p < 0.001$, ANOVA (post test Newman-Keuls).

Las poblaciones celulares del BAL varían drásticamente en los grupos analizados. En los animales del grupo control, el 85% de las células fueron macrófagos alveolares (MA) mientras que el 15% restante estuvo compuesto casi en su totalidad por células polimorfonucleares (PMN) (figura 5).

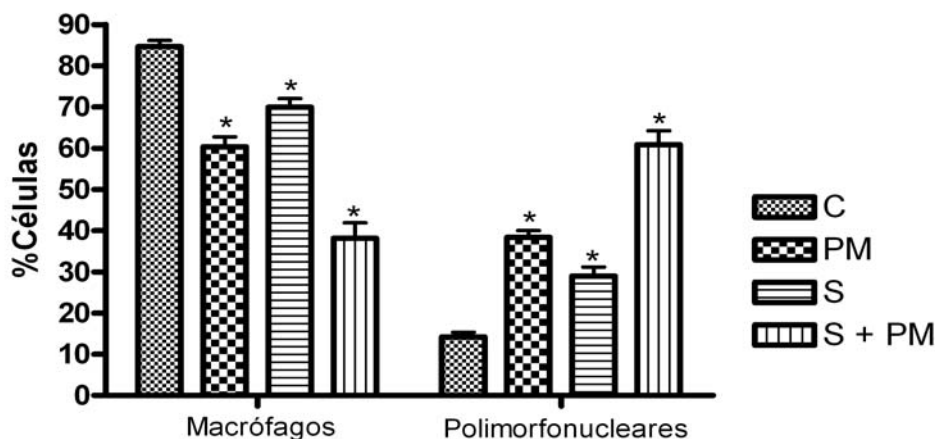


Figura 5. Recuento celular diferencial (RCD). Efecto del MP-RR sobre la proporción de macrófagos (MA) y polimorfonucleares (PMN), evaluado por tinción con Hematoxilina-Eosina. Controles (C), expuestos al material particulado (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a PM (S+PM). Cada barra representa la media \pm ES, n=5 animales. Los experimentos se realizaron por triplicado.* = $p < 0.001$, ANOVA (post test Newman-Keuls).

El porcentaje de linfocitos se mantuvo menor al 1% en todos los grupos estudiados (datos no mostrados). La exposición a MP-RR provocó un incremento significativo en el porcentaje de PMN respecto del grupo control (PM = $38 \pm 2\%$ vs. C = $14 \pm 1\%$; $P < 0.001$), en detrimento del porcentaje de MA (PM = $60 \pm 2\%$ vs. C = $85 \pm 3\%$; $p < 0.001$). Un comportamiento similar, pero con diferencias más acentuadas respecto del control, se observó en el grupo de animales sensibilizados y expuestos al MP-RR (MA: S+PM = $38 \pm 3\%$ vs. C = $85 \pm 3\%$ y PMN: S+PM = $61 \pm 4\%$ vs. C = $14 \pm 1\%$; $P < 0.001$).

En el ensayo del Nitrozul de tetrazolio (NBT), el O_2^- producido por las células reactivas del BAL provoca la reducción del NBT y consiguiente formación de un precipitado de color azul-violáceo. Como se observa en la figura 6, el porcentaje de células reactivas aumentó significativamente en los grupos expuestos a MP-RR respecto de los controles (PM = $38.7 \pm 1.9\%$ vs. C = $9.8 \pm 1.1\%$ y S+PM = $61.3 \pm 1.6\%$ vs. S = $24.4 \pm 2.5\%$; $P < 0.001$). Así mismo, el grupo de animales sensibilizados presentó una mayor reactividad que el grupo control (S = $24.4 \pm 2.5\%$ vs. C = $9.8 \pm 1.1\%$; $p < 0.001$). Los controles positivos, a los cuáles se les agregó tetradecanoil forbol acetato (TPA), alcanzan valores máximos superiores al 60%.