

PROYECTO ESTRATÉGICO DE UBA: " INUNDACIONES: GÉNESIS, COSTO SOCIO-ECONÓMICO, ADAPTACIÓN Y PREVENCIÓN "

PROYECTO DE AIACC LA 26: "CAMBIO CLIMATICO GLOBAL EN LAS AREAS COSTERAS DEL RÍO DE LA PLATA: AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR Y EFECTOS METEOROLOGICOS "

(Avance a Diciembre 2002)

1. Objetivo

El objetivo general del Proyecto es el análisis de las grandes inundaciones en el Litoral argentino y en la ribera del Río de la Plata en función del cambio climático regional observado y estimado para el futuro, conducente a la recomendación de líneas de acción que permitan reducir los daños socioeconómicos de estos eventos.

Excepto en un número limitado de casos en que se originan en accidentes, las inundaciones son generadas por eventos climáticos. Hasta el presente, la planificación en cualquier actividad afectada por el Clima, tenía como supuesto que las series de los parámetros climáticos sean estacionarias. Esto implica asumir que el Clima futuro tendrá las mismas características que en el pasado. A partir del actual Cambio Climático que se origina en las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI), esta suposición ya no es válida y para estimar el clima futuro se debe recurrir a métodos más sofisticados, que en su mayoría están aún en elaboración. Aún con limitaciones, la más creíble metodología es la que se basa en el desarrollo de escenarios climáticos para el futuro. Por lo tanto, los tipos de inundación que se analizan en el Proyecto son aquellos cuyos forzantes climáticos pueden ser aceptablemente representados en los escenarios climáticos del futuro con el actual estado del conocimiento.

2. Grupo de trabajo

El Proyecto está siendo ejecutado por un equipo multidisciplinario estructurado en 5 grupos: Meteorología, liderado por la Dra. Bischoff y el Dr. Vargas (FCEN), Hidrología por el Dr. Menéndez, Climatología por el Dr. Barros (FCEN), Geografía por la Dra. Natenzon (FFyL) y Geología de Costas por el Dr. Codignotto(FCEN). En la tabla 1, se presenta la nómina completa del personal involucrado

3. Gestiones por financiamiento

Una vez aprobado el Proyecto por la Universidad, y de acuerdo con lo recomendado por el Programa de Proyectos Estratégicos se buscó financiación adicional. El tramo del Proyecto referente al Río de la Plata se presentó a un concurso internacional del Programa de Estudio de la Vulnerabilidad al Cambio Climático (AIACC) siendo uno de los 50 proyectos seleccionados entre 150 para hacer una presentación extendida. Para ello se debió contar con el aval del área focal del Ministerio de Relaciones Exteriores que solicitó opinión al área de incumbencia (la Secretaria de Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente). Independientemente, se obtuvo el interés de la Sec. de Obras Públicas de la Ciudad de Buenos Aires y de la Defensoría Adjunta del Pueblo de la Ciudad (Área de Medio Ambiente) en los objetivos del Proyecto.. Finalmente, el proyecto fue uno de los 25 proyectos seleccionados por AIACC para ser financiados. Ello comenzó en abril de 2002 y se extenderá hasta fin de 2004. Con este financiamiento adicional se ha compensando parcialmente la pérdida ocasionada por la devaluación del año 2002 en el valor adquisitivo del financiamiento aportado por la UBA. El nombre del Proyecto financiado por AIACC es 'Global Climate Change on the Coastal Areas of the Río de La Plata: Sea Level Rise and Meteorological Effects', identificado dentro del Programa AIACC como Proyecto AIACC LA 26 e incluye como investigadores al MaSc R. Caffera y al MaSc M. Bidegain de la Universidad de la República (Uruguay)

4 Grandes ríos del Litoral

4.1 Objetivos específicos

1. Estimación del periodo de recurrencia de las inundaciones sobre el territorio
2. Pronóstico anticipado de las inundaciones en función de herramientas de pronóstico climático

4.2 Alcance territorial de las inundaciones

Para contar con información sobre el alcance territorial de las inundaciones del Litoral, tanto para la estimación integral de sus daños socioeconómicos como para la elección de estudios de casos, se elaboró un mosaico de 18 imágenes Landsat 5 correspondientes a la inundación 1997/1998 de los ríos Paraná y Uruguay con un sistema de información geográfica (GIS), [Fig. 1](#). Esta inundación fue una de las mayores registradas en el río Paraná desde el comienzo de los registros en 1904. Las imágenes fueron suministradas por la CONAE en el marco del convenio que mantiene con la FCEN. El mosaico es asincrónico, y está formado con la imagen que para cada área presenta la mayor área inundada. Debido a la limitación en la frecuencia con que se tomaron las imágenes (aproximadamente una o dos por mes) y a la cobertura nubosa que en algunos casos coincidió con los momentos de máxima inundación, es probable que el área afectada en algún momento de ese periodo sea algo mayor que la indicada por la [Fig. 1](#). Por lo tanto se trata sólo de una aproximación al área máxima inundada. Esta aproximación es aun más pobre en el caso del Río Uruguay porque durante las fechas de mayor crecida del Río, la cubierta nubosa impidió la utilización de las imágenes. De todos modos, la [figura 1](#) muestra la gran magnitud territorial involucrada por este tipo de inundación. La superficie inundada superó los 45.000 Km² que es más de la superficie de la provincia de Misiones y la superficie anegada superó los 33.000 Km². En la tabla 2 se discrimina el área inundada y anegada por provincia.

4.3 Limitaciones

Debido a la enorme área afectada por las inundaciones de los ríos del Litoral y las limitaciones de tiempo y recursos, el primer objetivo sólo se desarrollará sobre un área piloto.

El segundo objetivo se está focalizando en las crecidas más importantes dado que son las que presentan más clara vinculación con procesos climáticas.

4.4 Resultados

Un resultado general para la cuenca en conjunto, es que hay una amplificación de las variaciones porcentuales de los caudales con respecto a las respectivas variaciones de la precipitación integrada sobre toda la cuenca (Berbery and Barros 2002), Tabla 3. El factor de amplificación es algo mayor a 2. En el contexto actual de un proceso de Cambio Climático, esto tiene importantes consecuencias en la hidrología de la cuenca porque variaciones relativamente modestas en la precipitación media pueden dar lugar a importantes variaciones en los caudales medios

4.4.1 Río Paraná

Las mayores inundaciones en el territorio argentino se originan en grandes precipitaciones sobre la cuenca del tramo del Alto Paraná comprendido entre Jupí y Posadas, [Fig. 2](#), El aporte del río Paraguay generalmente acompaña estas crecidas pero no es determinante. La zona norte de la cuenca que es la más afectada por la convergencia del Atlántico Sur (SACZ), si bien aporta significativamente al caudal medio del río, no es relevante en las grandes crecidas (Camilloni and Barros 2002), [Fig. 3](#).

Las mayores inundaciones se originaron cuando el evento Niño se prolongó hasta el otoño siguiente al año de su iniciación (Camilloni and Barros 2002), [Fig. 4](#). En esos casos, las anomalías térmicas del Pacífico tropical inducen una circulación atmosférica que favorece en la alta troposfera la advección de vorticidad ciclónica y en capas bajas la advección de calor y humedad desde el continente tropical sobre la cuenca del Paraná. Como una vez iniciado el evento Niño, su evolución es bastante predecible, y dado que en todos los casos en que este evento se prolongó hasta el otoño siguiente se generaron enormes anomalías positivas de caudales, esto implica una herramienta de predicción sobre las mayores inundaciones. Este tipo de inundación se produjo con mayor frecuencia a partir del cambio de fase de los eventos Niños durante la década de 1980 (1983, 1992 y 1998) coincidiendo con el gran cambio de la circulación atmosférica observado a partir de mediados de la década de los 70, cuyo origen sería atribuible al calentamiento global. Al igual que las otras inundaciones, en estos casos, la anomalía de precipitación se produce en la cuenca del Río entre Jupí y Posadas, [Fig. 5](#).

4.4.2 Río Uruguay

Los mayores caudales trimestrales están más fuertemente asociados a la ocurrencia del Niño que en el caso del Paraná. Además, por las dimensiones y declive de la cuenca, este río presenta una rápida respuesta (días) a las tormentas. Las 20 mayores crecidas presentan en común la ocurrencia de grandes precipitaciones en la alta cuenca entre 8 y 12 días antes del pico de inundación en Salto (Barros et al 2002). Ello implica que las mismas pueden ser pronosticadas con un adecuado modelo hidrológico con varios días de anticipación.

4.4.3 Río Paraguay (trabajo en cooperación con investigadores de U. de Asunción)

Las mayores crecidas se originan en la cuenca dentro del territorio paraguayo. En contra de la creencia generalizada sobre la importancia del Pantanal, el mismo no aporta significativamente a estas crecidas. Las mayores crecidas se dan en el comienzo del invierno como resultado del complejo balance entre precipitación y evaporación.

5. Inundaciones en la ribera del estuario del Río de la Plata

Las inundaciones en la ribera del Plata se producen por la acción de los vientos sobre las aguas, originados en fenómenos meteorológicos denominados sudestadas. Además, la tendencia al aumento paulatino del nivel de las aguas no sólo está agravando el efecto de las sudestadas y de las precipitaciones intensas sobre el área urbana sino que en ciertas áreas de la ribera va a producir inundación permanente durante el presente siglo.

5.1 Sudestadas

El registro de mareas del puerto de Buenos Aires se descompuso en sus componentes astronómicas y meteorológicas. Se determinó el tipo de situación meteorológica (se encontraron 3 patrones característicos), su estacionalidad y la tendencia (Escobar et al 2003), [Fig. 6](#). Cada uno de estos patrones corresponde a una situación meteorológica distinta y con una predominancia estacional diferente, [Fig. 6](#). Se observa una leve tendencia positiva en la frecuencia de estos eventos, [Fig. 7](#). Las características de estos eventos serán comparadas con las simuladas por los modelos climáticos globales (MCG) para hacer su proyección a futuro.

5.2 Nivel del Río de la Plata

5.2.1 Tendencias observadas

El nivel del río tuvo un aumento de 20 cm durante el siglo XX, [Fig. 8](#). Ello coincide con lo observado en Mar del Plata, lo que indica que o bien el crecimiento del nivel del mar se propaga enteramente en el estuario hasta Buenos Aires o que existió la acción de otros factores. Con la primera versión de un modelo en desarrollo, se ha efectuado un análisis de sensibilidad para determinar la respuesta del nivel del Río a las variaciones de la elevación del nivel del mar, al cambio en la orientación de los vientos predominantes y al aporte de los ríos tributarios, [Fig. 9](#). El segundo parece tener una gran influencia. En consecuencia, se han investigado los campos de presión en superficie (que condicionan el campo de viento) Se comprobó que se ha producido un desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico desde la década del 70, [Fig. 10](#), lo que trajo como consecuencia una rotación de los vientos del nordeste hacia el este-nordeste sobre el estuario, [Fig. 11](#). Ello puede explicar parte de la tendencia creciente de las aguas en la costa argentina.

5.2.2 *Evolución futura*

Para generar los escenarios futuros del nivel del Río de la Plata, se utilizarán los escenarios climáticos resultantes de MCG que han sido construidos con similares condiciones de emisiones de GEI acordadas en el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). El Proyecto ha contrastado a siete de estos modelos sobre la cuenca del Plata contra el clima actual (1960/2000), [Fig. 12](#). En cuatro de ellos, los campos de presión son aceptablemente simulados incluso en sus tendencias, mientras que ninguno simula correctamente la precipitación. En consecuencia se tomarán como escenarios futuros posibles de los campos de viento a los cuatro que resultan de estos modelos. Con estos escenarios y con los escenarios futuros de nivel del mar tomados del Informe de la Tercera Evaluación del IPCC se forzará un modelo hidrodinámico del estuario y mar adyacente ([Fig. 13](#)) que ha sido elaborado por el Proyecto y está en la última fase de verificación. Las figuras [14](#) y [15](#) comparan la observación de ondas de marea y de tormenta con las simuladas por el modelo. Con este modelo se generarán los escenarios futuros de niveles de inundación permanente y por la acción de sudestadas de acuerdo con distintos escenarios de variación de los forzantes (ondas de tormenta y ondas de marea astronómica, ondas de crecida desde los tributarios y aumento del nivel medio del mar).

Se ha avanzado en la implementación de otro modelo más complejo, de carácter tridimensional cuyo objetivo será estudiar el comportamiento del frente de salinidad ([Fig. 16](#)), ubicado aproximadamente en la línea Punta Piedras-Montevideo, que presumiblemente se desplazará hacia el interior del estuario por el cambio climático. Cabe mencionar que el suministro de agua a la ciudad de Buenos Aires y su región metropolitana, se basa en el carácter dulce de las aguas del Río de la Plata en su zona interior.

5.3 *Áreas con vulnerabilidad*

Mientras se trabaja en determinar la vulnerabilidad futura en una forma objetiva y cuantificable con la metodología esbozada en los dos puntos anteriores, se ha iniciado el estudio de la vulnerabilidad física de la costa y del sistema social a partir de una primera aproximación. Se estima como probable un aumento del nivel medio del mar de 0,6 m en este siglo, pudiendo variar entre 0.3 m y 1 m (IPCC 2001). De acuerdo con las simulaciones del modelo hidrodinámico, este aumento se trasladará casi integralmente en el estuario ([Fig. 17](#)), excepto en la parte más interior del Río. Además, dado que los MCG indican que el desplazamiento del borde occidental del anticiclón del Atlántico sur continuará desplazándose hacia el sur, ello contribuirá a una mayor rotación de los vientos hacia el este, lo que incrementará aun más el nivel del Río. Por lo tanto, se adoptó provisoriamente el valor de 1 metro como el máximo ascenso del nivel medio del Río de la Plata en el transcurso del presente siglo. Para estimar el área futura de probable vulnerabilidad a las inundaciones se consideró la experiencia histórica que indica que el nivel de las aguas por la acción combinada de las sudestadas y la marea astronómica puede llegar a 4 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto, este valor sumado al máximo ascenso futuro del nivel medio del Río conduce a que se deba considerar como área de probable vulnerabilidad futura, a la que está por debajo de la cota de 5 m sobre el nivel del mar. Desde el punto de vista físico, el área más vulnerable es la de la Bahía de Samborombón por su escasa

altura sobre el nivel del mar y su estructura geológica. Desde el punto de vista social la mayor importancia reside en el Gran Buenos Aires incluyendo la ciudad capital.

5.3.1 Bahía de Samborombón

Se construyeron mapas topográficos del área costera y zonas de influencia a partir de mapas 1:50.000 del IGM. Esto incluyó la digitalización de la línea de costa entre Punta Rasa (límite sur del Río de la Plata) y el Delta del Paraná. Los mapas contienen los rasgos topográficos más importantes y curvas de nivel equidistantes cada 1,25 m. Los mapas en coordenadas Gauss-Krüger, serán utilizados en un GIS ([Fig. 18](#)).

Se elaboró un mapa geológico del área costera de la Bahía Samborombón que incluye la digitalización de las diferentes unidades con sus características litológicas en el mismo formato que los mapas topográficos. Asimismo, se construyó un mapa geomorfológico a partir de la digitalización de las distintas unidades geomórficas.

Los datos de subsidencia local fueron calculados a partir del estudio estadístico de mareas y comparados con otras estadísticas publicadas. Los resultados se corresponden con las tendencias mundiales de elevación del nivel del mar. El estudio del desplazamiento de la línea de costa por erosión/acumulación, se halla en la etapa de procesamiento.

5.3.2 Ciudad y Gran Buenos Aires

Con la curva topográfica de 5 metros se estimaron los radios y fracciones censales que se corresponden con la superficie por debajo de esta cota, a fin de determinar la cantidad de población a ser afectada en el futuro por el cambio climático, figuras [19](#) y [20](#). Una primera cifra aproximada es de 1,5 millones de habitantes, fundamentalmente en ambas márgenes del Matanza/Riachuelo, de los arroyos del norte de la ciudad y del río Reconquista. Se ha diseñado una estructura básica para el ordenamiento de la información que se refiere al uso del suelo en el área estudiada, particularizando datos específicos y localizados de infraestructura, instalaciones públicas, barrios residenciales, emprendimientos inmobiliarios, y toda otra construcción de valor social que podría ser afectada por inundaciones futuras.

Para estudiar con detenimiento la vulnerabilidad social, se seleccionó un área representativa (el conjunto La Boca – Avellaneda). Hasta la fecha se han producido avances en lo referente al barrio de La Boca.

Las inundaciones producidas por tormentas in situ son un grave problema en la ciudad de Buenos Aires. No es posible con el presente estado de conocimiento estimar la evolución futura en la incidencia de tales eventos. Sin embargo, se estima que el aumento del nivel del río agravará progresivamente este problema, sobretodo porque aunque no frecuentemente, algunas de estas tormentas se han producido al mismo tiempo o seguidas inmediatamente de sudestadas. Esto último está siendo cuantificado

5.4 El delta del Paraná

Se recopiló información sobre mapas antiguos del delta del Paraná desde 1608 hasta el presente a fin de tener un patrón de referencia sobre el progreso del delta en los últimos 200-100 años. El análisis de estos mapas permitió comprobar la verosimilitud de algunos de ellos y descartar otros por sus inconsistencias. Para evaluar la evolución del delta se han tomado como puntos de referencia las desembocaduras de los Ríos Luján y Reconquista.

6. Vinculación con actores sociales involucrados

Se está realizando un proceso de Inter.-consulta con instituciones públicas nacionales, provinciales y municipales, una institución defensora de los intereses de la ciudadanía, una organización no gubernamental dedicada a cuestiones ambientales, una organización vecinal ubicada en área urbana inundable y un centro de estudios sobre ciencia, desarrollo y educación superior. Se realizará un taller con los actores sociales relevantes en el mes de marzo de 2003. El objeto del mismo es la presentación de los resultados alcanzados por el Proyecto y la discusión de las próximas metas en función de las necesidades que los actores sociales involucrados juzguen importantes.

Referencias

Barros, V., M. Doyle, M. González, I. Camilloni, R. Bejarán and R. Caffera. 2002: Climate variability over subtropical South America and the South American monsoon: A review. *Meteorológica*, **27**, 33-57

Berbery, H. and V. Barros 2002: The hydrological cycle of the La Plata basin in South America. *J. Hydrometeorology*, **3**, 630-645.

Camilloni, I. and V. Barros 2002: Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing. 2003. *Journal of Hydrology* (in press)

Escobar, G., Vargas, W., and S. Bischoff 2003: Sudestadas in the Río de la Plata. Presentado al *Int. J. of Climatology*

Tabla 1

Personal del Proyecto

- PI. Dr. Vicente Barros (FCEN)
- CO-PIs :
 - Dr. Angel Menendez (FI, INA)
 - Dra. Claudia Natenzon (FyL)
 - Dr. Jorge Codignotto (FCEN)
 - Dr. Walter Vargas (FCEN)
 - Dra. Susana Bischoff (FCEN)
 - Dr. Alfonso Pujol (FI)
 - M. Sci. Rubén Caffera (AIACC-Universidad de la República, Uruguay)
 - M. Sci. Mario Bidegain (AIACC-Universidad de la República, Uruguay)
- Investigadores asociados:
 - Dr. Roberto Kokot (FCEN)
 - Dra. Inés Camilloni (FCEN)
 - Ing. Enrique D´ Onofrio (FI, SHN)
 - Ing Mariano Re (FI)
 - Dra. Moira Doyle (FCEN)
 - Lic. Julieta Barrenechea (AIACC LA 26)
 - Dr. Gustavo Escobar (FCEN)
 - Lic. Claudia Herrera (AIACC LA 26)
 - Lic. Diego Rios (AIACC LA 26)

Lic. Mónica Fiore (FCEN, SHN)
 Lic. Sebastián Ludueña (SRH , AIACC LA 26)
 Lic. Silvia González (AIACC LA 26)

- Estudiantes becarios
 Victor Kind (FI)
 Carlos Zotello (FCEN)
 Eugenia Bontempi (FCEN)
 Ruben Medina (FyL)
 Ezequiel Marcuzzi (FCEN)
 Cecilia Boudin (FyL)

Tabla 2

Provincia	Sup. (km2)	Analizada	Sup. (km2)	Inundada	Sup. (km2)	Anegada	Sin (km2)	Afectación
MISIONES		14.896,80		151,219		125,361		14.620,219
CORRIENTES		87.923,00		13.899,647		12.006,402		62.016,950
CHACO		32.095,38		2.245,561		2.595,823		27.253,995
SANTA FE		111.438,31		16.387,289		10.899,353		84.151,667
ENTRE RÍOS		76.671,00		11.677,829		5.881,040		59.112,130
BUENOS AIRES		31.911,45		887,498		1.852,962		29.170,989
TOTAL		354.935,94		45.249,0453		33.360,942		276.325,952

Tabla 3

AMPLIFICACION DE LA SEÑAL CLIMATICA

	Precipitación sobre la cuenca del Plata ($m^3 s^{-1}$)	Caudal ($m^3 s^{-1}$)	Evaporación + Infiltración ($m^3 s^{-1}$)
1998	107000	36600	70400
1999	81600	20440	61600
Diferencia	23 %	44 %	13 %
El Niño	76000	25250	50750
La Niña	71000	21640	49360
Diferencia	7 %	17 %	3 %
1951-1970	72000	19300	52700
1980-1999	83500	26000	56500

^[1]For lack of available precipitation records north 20° S during the 1951-1970 period, rainfall rates over La Plata basin 1980-1999 period were calculated only for the area south of this latitude.