

ARGENTINA: 2ª COMUNICACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO

“VULNERABILIDAD DE LA ZONA COSTERA”

INFORME FINAL

Diciembre de 2005

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO.....	8
EXECUTIVE SUMMARY.....	27
LISTA DE ACRÓNIMOS	46
1. INTRODUCCIÓN.....	48
2. ANTECEDENTES.....	49
2.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LOS RÍOS PARANÁ Y DE LA PLATA.....	49
<i>Autores: Angel N. Menéndez y Mariano Re</i>	
2.1.1. Río Paraná.....	49
2.1.2. Río de la Plata.....	58
2.1.3. El Bajo Delta del río Paraná.....	66
a. Crecidas del río Paraná.....	67
b. Crecidas del Río de la Plata.....	69
c. Inundación por las crecidas.....	69
2.1.4. Referencias.....	72
2.2. PRECIPITACIONES.....	75
<i>Autores: Walter Vargas y Susana Bischoff</i>	
2.2.1. Serie de referencia	75
2.2.2. Relación entre precipitaciones e inundaciones.....	78
2.2.3. Tendencias.....	81
2.2.4. Relación con eventos ENSO.....	85
2.2.5. Extremos diarios de precipitación.....	85
2.2.6. Referencias.....	86
2.3. INUNDACIONES EN LA LÍNEA DE COSTA.....	87
<i>Autor: Susana Bischoff</i>	
2.3.1. Las causas de las inundaciones.....	87

2.3.2. Riesgo de inundación.....	88
2.3.3. Inundaciones históricas.....	90
2.3.4. Pronóstico.....	91
2.3.5. Referencias.....	92
2.4. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA.....	97
<i>Autores: Roberto Kokot y Juan Guerrieri</i>	
2.4.1. Área costera.....	97
2.4.2. Metodología de análisis.....	98
2.4.3. La costa en proximidad del año 1950.....	101
a. Geología.....	101
b. Geomorfología.....	110
c. Modificaciones producidas hasta el año 1950.....	111
2.4.4. La costa actual.....	114
a. Metodología de análisis.....	114
b. Costa actual y comparación de contornos, respecto del año 1950...115	
c. Evolución de la costa, áreas de erosión y acreción.....	136
2.4.5. Referencias.....	144
2.5. AVANCE DEL FRENTE DEL DELTA.....	147
<i>Autor: Jorge Codignotto</i>	
2.5.1. Recopilación cartográfica.....	147
2.5.2. Recopilación bibliográfica.....	152
2.5.3. Referencias.....	153
2.6. FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA Y TENDENCIAS DE BOMBEO.....	155
<i>Autor: Gabriel Meconi</i>	
2.6.1. Hidrogeología regional.....	155
2.6.2. Modelo conceptual del sistema de flujo subterráneo.....	159
2.6.3. Hidroquímica regional.....	161
2.6.4. Mapas de flujo subterráneo.....	162
2.6.5. Tendencias de bombeo.....	176
2.6.6. Referencias.....	179

2.7.	ASENTAMIENTOS POBLACIONALES Y MIGRACIONES.....	182
<i>Autores: Claudia E. Natenzon, Silvia G. González y Diego Ríos</i>		
2.7.1.	La Aglomeración Gran Buenos Aires.....	182
2.7.2.	El crecimiento de la Aglomeración Gran Buenos Aires.....	183
a.	Período 1880 - 1929.....	184
b.	Período 1930 - 1975.....	187
c.	Período 1976 a la actualidad.....	191
2.7.3.	Poblamiento y población del Delta.....	195
2.7.4.	Referencias.....	198
3.	ESTUDIOS BÁSICOS.....	200
3.1.	TENDENCIAS DE LOS VIENTOS.	200
<i>Autores: Walter Vargas y Susana Bischoff</i>		
3.1.1.	Variaciones decadales de los vientos del SE y del SO.....	200
3.1.2.	Variación interanual de viento del SE y SO medido en OCBA.....	201
3.1.3.	Índice de intensidad del viento en superficie.....	204
3.1.4.	Representatividad del viento, variabilidad horaria.....	206
a.	Análisis del índice IndGJ.....	207
b.	Análisis del índice IndBR.....	209
3.1.5.	Variabilidad estimada del viento a través del índice, en escala decádica.....	210
3.1.6.	Frecuencia de ocurrencia de sudestadas y tendencia.....	213
3.1.7.	Asociación entre extremos de lluvia y frecuencias del viento.....	214
3.1.8.	Asociación entre extremos de lluvia y frecuencias de sudestadas.....	219
3.1.9.	Tendencias.....	219
3.1.10.	Referencias.....	220
3.2.	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA HIDROLOGÍA MEDIA Y EXTREMA DE LOS RÍOS PARANÁ Y DE LA PLATA.....	221
<i>Autores: Angel N. Menéndez, Mariano Re y Martín V. Kind</i>		
3.2.1.	Relación entre el ENSO y los caudales extremos del río Paraná.....	221
3.2.2.	Relación entre otros forzantes climáticos y los caudales extremos del río Paraná.....	222
3.2.3.	Acciones frente a las inundaciones del río Paraná.....	223

3.2.4. Efectos de variaciones de caudal sobre el Río de la Plata.....	225
3.2.5. Efectos del incremento del nivel medio del mar sobre el Río de la Plata.	232
3.2.6. Efectos de cambios en el patrón de vientos sobre el Río de la Plata.....	234
3.2.7. Referencias.....	235
3.3. ESTRUCTURAS DE DEFENSA COSTERA.....	237
<i>Autor: Roberto Kokot</i>	
3.3.1. San Isidro.....	238
3.3.2. Vicente López.....	238
3.3.3. Ciudad de Buenos Aires.....	240
3.3.4. Avellaneda.....	244
3.3.5. Quilmes.....	245
3.3.6. Berazategui.....	246
3.3.7. Ensenada - Berisso.....	247
3.3.8. Magdalena.....	251
3.3.9. Punta Indio.....	251
3.3.10. Referencias.....	252
3.4. TENDENCIA DE AVANCE DEL FRENTE DEL DELTA.....	253
<i>Autor: Jorge Codignotto</i>	
3.4.1. Relación entre el avance del frente y el Cambio Climático.....	253
3.4.2. Ritmo de avance del frente.....	253
3.4.3. Tendencia futura.....	255
3.4.4. Referencias.....	256
3.5. EROSIÓN DE ZONAS RIBEREÑAS COSTERAS.....	258
<i>Autor: Jorge Codignotto</i>	
3.5.1. Deslizamientos.....	258
3.5.2. Erosión fluvial.....	260
3.5.3. Vulnerabilidad física de riberas y costas.....	268
3.5.4. Referencias.....	269

3.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS Y SU RELACIÓN CON EL RÍO DE LA PLATA.....	270
<i>Autor: Gabriel Meconi</i>	
3.6.1. Introducción y objetivos.....	270
3.6.2. Relación entre la salinidad, el flujo subterráneo, la geología y la geomorfología.....	271
<i>a. Mapas subregionales y regionales de salinidad del agua subterránea...</i>	<i>271</i>
<i>b. Salinidad con hincapié en las condiciones naturales</i>	<i>277</i>
<i>c. Salinidad con hincapié en condiciones de explotación intensiva o sobreexplotación.....</i>	<i>286</i>
3.6.3. Potenciales zonas de riesgo de intrusión salina en acuíferos.....	290
3.6.4. Referencias.....	292
4. PROYECCIONES.....	295
4.1. PELIGRO DE INUNDACIÓN.....	295
<i>Autores: Angel N. Menéndez y Mariano Re</i>	
4.1.1. Condiciones actuales.....	295
4.1.2. Escenarios futuros.....	297
4.1.3. Inundación permanente.....	300
4.1.4. Inundación temporaria.....	304
4.1.5. Referencias.....	307
4.2. EVALUACIÓN DE DAÑOS ECONÓMICOS.....	308
<i>Autores: Pablo Bronstein y Angel N. Menéndez</i>	
4.2.1. Alcance y metodología.....	308
4.2.2. Curva de daños.....	313
4.2.3. Daño medio anual a infraestructura constante.....	313
4.2.4. Daño medio anual con crecimiento de la infraestructura.....	316
4.2.5. Referencias.....	318
4.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO.....	319
<i>Autores: Claudia E. Natenzon, Silvia G. González, Diego M. Ríos y Cecilia Boudin</i>	
4.3.1. Vulnerabilidad social frente a desastres.....	320

a.	<i>Recopilación de datos</i>	321
b.	<i>Diseño y construcción del SIG</i>	327
c.	<i>Indicadores</i>	327
d.	<i>IVSD y sus dimensiones</i>	329
4.3.2.	Población expuesta	336
4.3.3.	Bienes expuestos	337
4.3.4.	Riesgo por Cambio Climático en el área de estudio	343
4.3.5.	Bibliografía	355
4.3.6.	Anexo: Indicadores de vulnerabilidad social	357
4.4.	EVALUACIÓN DE ACCIONES ALTERNATIVAS DE DEFENSA	370
	<i>Autores: Pablo M. Bronstein y Angel N. Menéndez</i>	
4.4.1.	Consideraciones generales	370
4.4.2.	Zona de análisis	373
4.4.3.	Costos de obras de defensa	375
4.4.4.	Costos de relocalización	376
4.4.5.	Evaluación beneficio-costo	376
5.	CONCLUSIONES	380
	<i>Autor: Angel N. Menéndez</i>	
5.1.	CONCLUSIONES TEMÁTICAS	380
5.2.	LOS PROBLEMAS PRINCIPALES	388
5.3.	RECOMENDACIONES	391

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo general del estudio denominado “Vulnerabilidad de la Zona Costera”, para la Segunda Comunicación de Cambio Climático, es establecer, en base a estudios existentes y análisis adicionales de datos disponibles, los efectos del Cambio Climático (CC) sobre la dinámica física del Río de la Plata y la dinámica poblacional de su zona costera.

Características hidrológicas del río Paraná y del Río de la Plata

El régimen hidrológico del río Paraná muestra cuatro tendencias distintas: una “etapa antigua”, en el período 1902-1970, de relativa estabilidad estadística; una “etapa de transición”, durante la década de 1970, con una tendencia de incremento continuo de los caudales medio y extremos; una “etapa moderna”, en el período 1980-2000, de relativa estabilidad estadística, con un caudal medio 38% superior al de la etapa antigua, máximos y mínimos anuales también incrementados respecto de la etapa antigua, y aumento de la frecuencia de las crecidas extraordinarias; la “situación actual”, que comprende los primeros años del presente siglo, a la que aún no se le puede asignar una relevancia estadística, pero que muestra un caudal medio 21% inferior al de la etapa moderna y sólo 8% superior al de la etapa antigua, máximos similares a los de la etapa antigua y mínimos similares a los de la etapa moderna.

Pueden distinguirse tres tipos de crecidas del río Paraná: Las ‘crecidas ordinarias’, con caudales pico por debajo de 33.000 m³/s en el eje Paraná-Santa Fe y recurrencias de hasta 5,5 años; las ‘crecidas extraordinarias’, con caudales pico por debajo de 45.000 m³/s y recurrencias de hasta 15 años, y las ‘crecidas excepcionales’, las restantes. En la etapa moderna se manifiesta un incremento relativo de la frecuencia de las crecidas extraordinarias, que resulta aún más notorio para las crecidas excepcionales.

Comparando los eventos hidrológicos extremos ocurridos en las etapas antigua y moderna, se concluye que ha habido una relativamente alta frecuencia de picos de crecidas extremas para la etapa moderna, mientras que la frecuencia de picos de bajantes extremas ha sido similar. No obstante, las bajantes extremas han sido relativamente más intensas en la etapa moderna.

En la serie temporal de caudales medios mensuales, desde el principio de la etapa de transición se han activado notoriamente las componentes espectrales de alrededor de 8 años de período y, en menor medida, las de alrededor de 4 años, que coinciden con las componentes espectrales asociadas al fenómeno de El Niño.

Respecto del Río de la Plata, el nivel medio del agua en la ciudad de Buenos Aires se ha incrementado relativamente alrededor de 17 cm durante el siglo XX. El régimen astronómico de la oscilación del nivel de agua es micromareal, es decir, la amplitud de la oscilación es pequeña, siendo entonces las componentes meteorológicas de alta relevancia. La acción de vientos locales intensos producen variaciones del nivel de agua de varias decenas de centímetros. Los vientos provenientes del SE generan un apilamiento (“setup”), mientras que los del N y el W conducen a una depresión (“setdown”).

Las crecidas del Río de la Plata, asociadas a las sudestadas, pueden dividirse en dos tipos: Las ‘crecidas ordinarias’, con niveles pico por debajo de 3,3 m MOP en Buenos Aires y recurrencias de hasta 5,5 años; y las ‘crecidas extraordinarias’, las restantes. No se observa un cambio de frecuencia de las crecidas extraordinarias para la etapa posterior a 1970.

La corriente de marea es dominante, con una amplitud media de la velocidad de marea de alrededor de 0,45 m/s en el río Interior y de 0,30 m/s en el río Exterior (la separación entre ambos es la línea imaginaria Punta Piedras-Montevideo). Su dirección es longitudinal en el río Interior, y presenta un patrón redondeado en el río Exterior. La corriente de deriva, producida por la descarga desde los tributarios principales, varía desde aproximadamente 0,10 hasta 0,05 m/s en el río Interior, reduciéndose a 0,01 m/s en el río Exterior. El tiempo de residencia es del orden de 1 mes para el río Interior y de 3 meses para el río Exterior.

El río Interior está constituido por agua dulce, mientras que a lo largo del Río de la Plata Exterior se desarrolla la transición entre agua dulce y salada. La distribución de salinidad en el fondo no presenta una tendencia estacional marcada. En cambio, la distribución superficial está muy influenciada por los vientos y la fuerza de Coriolis.

Durante las crecidas del río Paraná, la región entrerriana del Bajo Delta constituye un importante corredor de escurrimiento, mientras que la bonaerense actúa esencialmente como zona de almacenamiento. El desborde se produce para un caudal, en el eje Paraná-Santa Fe,

de alrededor de 20.000 m³/s. Para crecidas de duración normal, un pico de 56.000 m³/s en el eje Paraná-Santa Fe se atenúa en un 30% al atravesar el Delta.

La inundación del Bajo Delta, bajo la acción de una Sudestada, comienza cuando la escala ubicada en Buenos Aires alcanza aproximadamente 3 m MOP. Su efecto llega, normalmente, hasta la altura de Campana ó Zárate. Para los fenómenos de 10 años de recurrencia, la crecida del Río de la Plata produce mayores niveles de inundación que la del río Paraná para la mayor parte del Bajo Delta. Para las crecidas de recurrencia centenaria, la crecida del Río de la Plata es más significativa hasta la altura de Atucha, resultando de mayor envergadura la del río Paraná aguas arriba de esa localidad.

Precipitaciones

El régimen pluviométrico de la costa bonaerense está identificado por una onda anual cuyos máximos de precipitación se producen en los meses de otoño y primavera, con una amplitud anual pequeña. El total anual para esta región fluctúa alrededor de los 1000 mm al año. Los mecanismos que producen las precipitaciones más frecuentes son los fenómenos denominados frentes, líneas de inestabilidad, sistemas de bajas presiones y tormentas de masas de aire. Los tres primeros están caracterizados por producir las lluvias más intensas (convectivas), y el último por lluvias generalizadas más persistentes y de menor intensidad. Las tormentas más frecuentes tienen una duración de entre 1 y 2 días, con totales acumulados de entre 20 y 40 mm. Los eventos de lluvias prolongadas e intensas son probables pero no frecuentes en la región.

La relación entre las inundaciones en la zona costera y la precipitación no definen un patrón de dependencia o de asociación, ya que el 50% de las mismas ocurren sin precipitación. Además, las mayores inundaciones ocurren sin precipitación. Esto sugiere que las inundaciones en la zona costera son consecuencia primordialmente de la circulación atmosférica, dominada en esta región por el viento del sudeste, y conocida con el nombre de sudestada.

En general es posible inferir que existe una tendencia positiva (aumento de precipitación) en los totales anuales de lluvia, las frecuencias anuales de precipitación, los totales de lluvia estivales y las frecuencias de días de lluvia de primavera. Estas tendencias son el resultado de

procesos de muy largo periodo, donde si bien existen distinciones no homogéneas de eventos ENSO, este efecto no se refleja.

Inundaciones en la línea de costa

El evento de sudestada, que produce las inundaciones en la línea de costa de la ciudad de Buenos Aires y del Gran Buenos Aires, está ligado a situaciones meteorológicas que generan cambios rápidos en la presión y vientos del sector este-sudeste en el Río de la Plata, dando lugar a una onda de tormenta que se superpone sobre la marea astronómica. Los niveles máximos del Río de la Plata asociados a eventos de sudestada tienen valores variables, dependiendo de la intensidad y persistencia del viento y de la ocurrencia simultánea del máximo de altura de onda de tormenta y de altura de onda de marea astronómica.

El nivel de riesgo de inundaciones asociadas a los eventos de sudestada puede caracterizarse a partir de los siguientes umbrales de altura del Río de la Plata en la ciudad de Buenos Aires: 2,50 m MOP es el nivel de alerta; 2,80 m MOP es el nivel de emergencia; 3,20 m MOP es el nivel de evacuación. El período de retorno para valores extremos anuales de altura del Río de la Plata correspondiente al nivel de evacuación varía entre 2,5 y 9 años.

Las mayores crecidas en la línea de costa en el período 1905-1960 alcanzaron valores de entre 3,15 m y 4,45 m MOP, siendo la de julio de 1958 (con 3,85 m MOP) la que causó los mayores daños sociales y económicos en la región. En 1989 y 1993 se registraron fuertes inundaciones, con niveles del Río de la Plata que llegaron a 4,06 y 3,95 m MOP, respectivamente. Para el período de 50 años 1951 – 2000, la onda de tormenta superó 3 veces los 3,00 metros. Si se suma la altura media de la onda de marea, de 0,90 m, se estaría en presencia de los casos de inundaciones extremas en la costa del Río de la Plata. El 80% de los eventos de sudestada tuvieron una duración menor o igual a 60 horas y el 8% (aproximadamente 25 sudestadas) superaron el nivel de evacuación en 50 años, aproximadamente una cada 2 años.

La altura de la onda de tormenta máxima anual muestra una tendencia de crecimiento desde 1905 hasta 1993, con su mayor pendiente desde aproximadamente 1980.

Evolución de la línea de costa

A partir de la comparación de mapas históricos próximos al año 1950 e imágenes satelitales actuales se comprobó la tendencia evolutiva de la costa del Río de la Plata. La comparación de ambos registros se efectuó previa geo-referenciación y equiparación de escalas y sistema de referencia.

De la comparación de registros surgieron 151 polígonos, que totalizan un área de 38,10 km². De esa superficie, 18,94 km² corresponden a zonas de retroceso de la línea de costa y 19,16 km² a zonas de progradación del territorio.

La evolución de la línea de costa sigue un patrón natural, pero las modificaciones más importantes, en continuidad con un proceso de modificación costera iniciado en el siglo XIX, son el resultado de la acción antrópica. El retroceso costero se debe en parte a la erosión, especialmente en la zona de Punta Indio, y en parte a la acción antrópica, en relación con la construcción de dársenas en el Puerto de Dock Sud. La progradación de la costa se debe a la sedimentación en la zona de Punta Atalaya, la sedimentación inducida en el lado sudeste de los espigones costeros y al relleno artificial en San Isidro, Vicente López y ciudad de Buenos Aires.

El movimiento de los sedimentos a lo largo de la costa confirma la tendencia registrada durante el Holoceno, es decir desde sudeste hacia noroeste.

Avance del Frente del Delta

La bibliografía existente sobre el avance del Delta es exigua. Anteriormente a 1980 hay trabajos de tipo descriptivos. Recién en la década del ochenta se elabora un mapa geomorfológico sobre la evolución del complejo deltaico, iniciándose una etapa con una visión técnicamente moderna sobre el Delta y sus geoformas asociadas. En la década del noventa se elabora un esquema evolutivo respecto del incremento areal de la isla Martín García, el avance del frente deltaico y geoformas costeras asociadas. Finalmente entre los años 2003 y 2005 se elaboran trabajos sobre el avance del delta del río Paraná y la determinación de tasas de aumento areal del Delta desde fines del siglo XIX hasta el presente, discriminados por subzonas.

Flujo de agua subterránea y tendencias de bombeo

La sobreexplotación del Acuífero Puelche en las áreas metropolitanas hasta fines de los '80 generó inversiones de flujo subterráneo y grandes conos de depresión en su superficie piezométrica. Esto significó la extrema profundización de la superficie freática y la transformación artificial de algunos cursos de agua en influentes o perdedores. El Acuífero Pampeano o Epipuelche llegó a secarse en los conos más profundos cuando la superficie freática descendió hasta el techo del Puelche. Esto generó problemas ambientales: intrusión salina (a partir del agua subterránea alojada en los sedimentos "querandinenses" del Holoceno, que contienen agua salobre y salada por su origen marino) y contaminación (principalmente con nitratos) proveniente del Pampeano.

Los cambios económicos y políticos desde principios de los '90 (disminución de la explotación industrial del Puelche; privatización del servicio de agua potable, que prioriza el uso del agua del Río de la Plata sobre la subterránea; pérdida del control estatal del recurso hídrico; fallas en el control estatal de los servicios sanitarios privatizados), provocan la brusca disminución de la explotación del Puelche en varias zonas metropolitanas, generando el ascenso de las superficies piezométrica y freática. En varias zonas, el agua "importada" desde el Río de la Plata al subsuelo a través de los pozos absorbentes, sin que el reemplazo del agua subterránea sea acompañado con la construcción de cloacas, provoca una recarga extra que agrava dicho ascenso. Incluso se producen anegamientos por afloramiento superficial de agua freática.

Asentamientos poblacionales y migraciones

La Aglomeración Gran Buenos Aires, localidad más poblada del país, ha cambiado en términos demográficos y espaciales al extenderse sobre su periferia, incorporar nuevas áreas y unirse a otras localidades. Para 1991, la Aglomeración estaba formada por la ciudad de Buenos Aires y veintiséis partidos de la Provincia de Buenos Aires, cuya superficie y población integran total o parcialmente la mancha urbana.

La ocupación y el crecimiento tuvieron diferencias en el tiempo. Entre 1880 y 1929 influyó la consolidación de Argentina como país agroexportador y la inmigración de grandes

contingentes de población. En este período la población de la Aglomeración tuvo su más rápido crecimiento (de 671.383 habitantes en 1904 a 1.883.811 habitantes en 1914), el que en parte se produjo en áreas inundables de los valles fluviales y, principalmente, en el sur de la ciudad de Buenos Aires y áreas aledañas. A fines del período las obras de infraestructura hídrica realizadas por el Estado hicieron que nuevas zonas inundables comenzaran a ser ocupadas rápidamente.

El proceso de industrialización por sustitución de importaciones centrado en la fabricación de bienes de consumo para el mercado interno, la inmigración interna y las políticas de redistribución del ingreso determinaron la configuración de la Aglomeración a partir de 1930. La construcción de edificios en altura densificó la Capital Federal. A partir de 1940 se inició el segundo proceso de suburbanización, con un extraordinario crecimiento de la periferia urbana por desarrollo de pequeñas y medianas fábricas, construcción de barrios obreros, subsidios al transporte público, créditos accesibles para la construcción de viviendas y aparición de loteos populares realizados por promotores privados. En paralelo se incrementó otra forma de vivienda para los sectores de más bajos ingresos, las villas miseria, existentes desde 1930. Tanto los loteos populares como las villas miseria ocuparon valles de inundación de ríos que atraviesan la Aglomeración. Si bien a partir de 1956 las políticas redistributivas y de subsidio al transporte fueron frenadas, la Aglomeración aumentó su perímetro tanto a través del mercado de tierras como con ocupaciones ilegales. Creció la población en los partidos más alejados de la Capital Federal, ocupando áreas de máxima inundación registrada. En 1970, la Aglomeración tenía 8.432.150 habitantes.

Desde 1976 hasta la actualidad influyeron aspectos vinculados a la dictadura militar primero y a la democracia después. El régimen militar instrumentó normativa dirigida a producir un ordenamiento territorial que acrecentó la segregación espacial. En la Capital Federal ejecutó planes de erradicación de villas miserias y construcción de grandes obras que beneficiaron la circulación automotor, valorizando el centro de la ciudad y apartando a los sectores de bajos ingresos hacia la periferia del Aglomerado. Por el encarecimiento de los costos los promotores inmobiliarios se volcaron hacia los sectores de mayores ingresos desarrollando viviendas de fin de semana no permanentes, principalmente en los partidos del norte del Aglomerado. La vuelta a la democracia de 1983 estuvo acompañada por la reinstalación de villas miserias, la toma de casas abandonadas y el crecimiento de inquilinatos y hoteles en la Capital Federal, mientras que en la periferia los sectores populares comenzaron a ocupar

tierras a través de asentamientos localizándose la mayoría de ellos en áreas inundables cercanas a focos de contaminación. Durante la década de 1990 la reforma del Estado, la desregulación económica y la privatización de servicios generaron profundas transformaciones, siendo relevantes las urbanizaciones de sectores medios y altos, predominando los barrios cerrados en las áreas más alejadas de la periferia, preferencialmente en la zona norte de la Aglomeración. En algunos casos las urbanizaciones cerradas se expandieron sobre áreas inundables que no habían sido ocupadas en períodos anteriores.

La última cifra de población disponible (2001) indica que el área urbana de la Aglomeración alcanzaba a los 12.045.921 habitantes. Un 25% de su superficie está en áreas inundables, que ha crecido tanto por loteos y ocupaciones ilegales y como por emprendimientos inmobiliarios cerrados.

El poblamiento del Delta comenzó en la segunda mitad del siglo XIX. La culminación del período de colonización se produjo entre 1920 y 1940, en base a actividades frutícolas y hortícola, productos forestales y, en menor medida, ganadería. En la década de 1930 el Delta alcanzó a tener unos 40.000 habitantes, el mayor número de su historia.

A partir de la década de 1950, el Delta produjo emigración hacia los ámbitos urbanos, atraída por las actividades industriales. En este período se originó el monocultivo forestal del sector bonaerense, mientras que en Entre Ríos siguió la ganadería como principal actividad y en el Delta más cercano a Buenos Aires y su región metropolitana se desarrollaron actividades de recreación y esparcimiento para los habitantes urbanos. En las últimas décadas las explotaciones forestales aumentaron su tamaño, cambiaron las técnicas de trabajo y, en consecuencia, produjeron impactos en el ambiente. Junto con estas transformaciones se propusieron e implementaron grandes proyectos de infraestructura y obras públicas.

Tendencias de los vientos

El análisis decádico de la frecuencia anual de los vientos, desde la década 1951-1960 a la 1991-2000, muestra que los vientos del SO han sufrido una disminución de la frecuencia del 3%, aproximadamente, mientras que los vientos del SE también indican inicialmente una tendencia negativa de alrededor del 2%, seguida de un aumento rápido de alrededor del 2,5%

en la década 81-90, manteniéndose aproximadamente en los nuevos valores hasta fines del siglo.

El estudio de las frecuencias anuales y su variabilidad, para las dos direcciones de viento de interés (SE y SO), también indica un marcado aumento de las frecuencias a partir de 1990 en las diferentes estaciones del año.

Se definieron dos índices de viento como la diferencia de presión en superficie entre dos puntos, los cuales permiten estimar la dirección del viento en la zona de estudio en forma independiente de eventuales cambios de origen antropogénico (cambios de instrumental, efectos locales de diferentes alturas de instalación del instrumento, cercanías de obstáculos, etc.). De la comparación con el viento medido en la estación OCBA (Observatorio Central Buenos Aires) se concluye que los índices pueden filtrar los efectos antropogénicos y que, además, constituyen una muy buena estimación especialmente de aquellos vientos asociados a riesgos de sudestadas (y consecuente inundación), filtrando las calmas.

La frecuencia de sudestadas muestra un aumento hacia fines del siglo pasado, sin constituir una ley sencilla y lineal.

El régimen pluvial de esta región está muy asociado a los vientos del sector sudeste, aunque no forzosamente en la porción de la distribución de extremos de lluvia. En cambio, los vientos del sudoeste están asociados en términos fortuitos y con poca probabilidad de ocurrencia con las lluvias en la región, y no las más intensas. Esto puede entenderse porque, salvo lapsos muy cortos (pasaje de frentes), el viento del sudoeste implica una disminución de la actividad generadora de lluvia.

Dentro del régimen pluvial, especialmente el extremo, las sudestadas no están asociadas en forma explícita a las lluvias ni a las lluvias extremas. Existen excepciones, con baja probabilidad de ocurrencia.

El modo de circulación asociado al verano muestra una frecuencia en aumento hacia fines del siglo pasado, a expensas de una disminución del modo que predomina en el invierno. Este comportamiento indica que es más acentuado el campo de circulación asociado a vientos del este sobre la región del Río de la Plata.

Resultados obtenidos mediante Modelos de Circulación General, utilizando los escenarios del IPCC, indican que la frecuencia de los vientos del sudeste aumentará durante el presente siglo y, por ende, la frecuencia de sudestadas.

Efectos del Cambio Climático en la Hidrología media y extrema de los ríos Paraná y de la Plata

Los picos extremos de caudal del río Paraná se originan usualmente en las zonas central y sur de la cuenca alta del Paraná, especialmente en la zona central. La contribución de la zona norte de la cuenca alta del Paraná no sólo es generalmente pequeña, sino que, a veces, es negativa.

Se han encontrado evidencias consistentes sobre la relación entre los caudales del río Paraná y el fenómeno del ENSO. En particular, las dos terceras partes de los picos máximos de caudal (y de las mayores contribuciones desde la zona central de la alta cuenca del Paraná) ocurrieron durante eventos El Niño, y ninguno ocurrió durante la fase La Niña.

Un tercio de los caudales mayores del Paraná tuvieron lugar durante la primavera o el verano de períodos neutros, lo que indica claramente que ellos no fueron forzados por el ENSO. Entonces, otros factores atmosféricos, no modulados por la SST, pueden tener influencia sobre la precipitación asociada a algunos de los caudales máximos.

Ante la repetición de eventos extremos de crecidas del río Paraná (1982-83 y 1992), se implementó para el período 1992-1996 el “Programa de Emergencia para las Inundaciones”. Este programa fue continuado por el “Proyecto de Protección contra las Inundaciones”, en etapa de finalización.

Sólo bajo una condición excepcional, de la cual sólo se tiene un registro (1983), los caudales altos de los tributarios principales del Río de la Plata pueden tener un efecto significativo sobre sus niveles. De todos modos, ello no alcanzaría para generar condiciones de alerta de inundación.

Las reducciones de caudal necesarias para que el avance del frente salino sobre el Río de la Plata Interior produzca impactos significativos sobre usos del agua son poco probables durante el presente siglo.

El incremento del nivel medio del mar actúa como un forzante global de todo el Río de la Plata, arrastrando prácticamente en bloque al nivel medio. Además, en virtud del orden de incremento esperable durante el siglo XXI, su efecto sobre los niveles (y, en particular, sobre las inundaciones) sería mucho más significativo que el asociado a potenciales aumentos de caudal de los tributarios.

Con los incrementos esperables del nivel medio del mar para el presente siglo, no se producirá un desplazamiento significativo del frente salino dentro del Río de la Plata Interior tal que pueda provocar impactos significativos sobre usos del agua.

El valor del aumento de nivel esperable en el río Interior, como resultado de la variación en el patrón de vientos estival, es intermedio entre los asociados a un incremento de caudales de los tributarios y el incremento del nivel medio del mar.

Estructuras de Defensa Costera

Las defensas costeras del Río de la Plata están asociadas principalmente a la presencia de rellenos e instalaciones portuarias. Además, se hallan estructuras asociadas a muelles de pesca y tomas de agua.

Las defensas costeras construidas para la protección de rellenos consisten en revestimientos y malecones de hormigón; por ejemplo, en las costas de San Isidro, Vicente López, Ciudad de Buenos Aires, Quilmes y Punta Lara.

Las construcciones portuarias consisten básicamente en escolleras y rompeolas. Las principales corresponden a los puertos de San Isidro, Olivos, Buenos Aires, Dock Sud y La Plata.

También es significativa la presencia de espigones y muelles utilizados para pesca y recreación, como el Club de Pescadores y el Pejerrey Club.

Tendencia de avance del Frente del Delta

Desde 1750 al presente, es decir, aproximadamente en los últimos 250 años, el Delta del Paraná en el sector comprendido entre la costa bonaerense, el Río Paraná Guazú y el frente actual ha acrecionado alrededor de 650 km². Esto representa un valor de crecimiento lineal promedio aproximado de 15 km, ó sea 60 metros por año.

Pero la tasa de acreción ha disminuido: entre 1750 y 1800 el delta aumentó su superficie en 230 km²; entre 1800 y 1850 aumentó 148 km²; entre 1850 y 1900, 118 km²; entre 1900 y 1950, 96 km², y entre 1950 y el presente aumentó 58 km².

El incremento del nivel medio del mar y el aumento de la frecuencia de los vientos provenientes del este, con el consiguiente incremento de altura de las olas, son factores que habrán de producir una disminución de la tasa de avance. Más aún, queda planteada la posibilidad de que los factores regresivos mencionados lleguen a producir un cambio de dinámica, pasando de un retraso a una transgresión, produciendo entonces una redistribución del material deltaico, que se transformaría entonces en un pantanal y luego, parcialmente, en una planicie de marea.

Erosión de zonas ribereñas y costeras

En las márgenes del tramo inferior del río Paraná son frecuentes los fenómenos de deslizamiento, tanto sobre la ribera entrerriana como en la santafesina, vinculados con la migración de meandros.

Ya en la Provincia de Buenos Aires, los meandros del Paraná migran en su planicie aluvial sin afectar zonas altas, de modo que los deslizamientos son mínimos y de pequeña magnitud. Sin embargo, es significativa la erosión fluvial, que cambia el contorno ribereño.

El ascenso del nivel medio del mar conlleva procesos destructivos que se concentran especialmente en las costas bajas y en las costas de micro acantilados constituidos por rocas blandas. El Delta del río Paraná es el área que presenta el mayor grado de vulnerabilidad.

El manejo inadecuado del área costera es un factor muy importante en el incremento de la vulnerabilidad.

El área del Río de la Plata tiene un bajo índice sísmico, pero no puede ignorarse que el 5 de junio de 1988 se produjo un sismo de magnitud 5,5 e intensidad VI. Los terremotos pueden provocar la ocurrencia de una ola sísmica (“tsunami”), que constituye un riesgo adicional.

Características de los acuíferos y su relación con el Río de la Plata

Las anomalías en el flujo subterráneo (por la sobreexplotación que generó o genera conos de depresión piezométrica) se correlacionan con anomalías en el contenido de sales totales disueltas, que reflejan claramente la intrusión salina lateral que sufren los acuíferos desde el litoral del Río de la Plata y desde los valles de las cuencas inferiores de sus principales tributarios, por inversión del flujo natural saliente por flujo artificial entrante. Se atrae así el agua subterránea salobre o salada alojada en los sedimentos costeros de origen marino o de paleoestuarios y en los acuíferos en contacto con los mismos; o salinizada debido al largo tiempo de recorrido y residencia en áreas de descarga con gradiente hidráulico ínfimo que minimiza su movimiento; o debido a reacciones químicas complejas como oxidación de sulfuros a sulfatos, entre otras.

En varias zonas del área costera, el contacto directo del Postpampeano con el Puelche (por erosión total del Pampeano que los separa en las áreas altas) facilitó la entrada de agua de origen marino en el Puelche, sobre todo durante la máxima ingresión holocena.

Dado que el aumento del nivel del mar esperable para este siglo no sería suficiente como para provocar un aumento significativo de salinidad en el Río de la Plata Interior, no debería esperarse un aumento del riesgo de salinización de acuíferos por incremento del nivel medio del mar.

El proceso de salinización inducido por sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo podría proseguir si se retoman en el futuro las condiciones de sobreexplotación donde ya han cesado (por ejemplo: Quilmes), o si se continúa la explotación intensiva donde aún se la practica (por ejemplo: Berazategui).

Peligro de inundación

Las áreas más afectadas por las inundaciones provocadas por las ondas de tormenta (asociadas a las sudestadas) son la costa sudeste del Gran Buenos Aires y el distrito de Tigre.

El incremento del nivel medio del mar es el efecto dominante en el Río de la Plata Exterior. En el río Interior, a aquél se le suma el aumento producido por el cambio en la dirección de los vientos.

Para la década de 2030 el máximo aumento del nivel medio del río correspondería a la estación de invierno, mientras que para la década del 2070 el aumento sería más parejo, con valores algo superiores para la primavera.

El Cambio Climático no habrá de provocar la inundación permanente de áreas significativas de la costa argentina del Río de la Plata durante el presente siglo.

Las tres zonas costeras más vulnerables al incremento de las inundaciones por el Cambio Climático son: el Frente del Delta del Paraná, la franja costera que va desde Berisso–Ensenada hasta Berazategui–Quilmes y una franja al Sur de la Bahía Samborombón, resultando además creciente el riesgo de inundación en la cuenca baja de los ríos Matanza–Riachuelo y Reconquista.

Evaluación de daños económicos

El incremento de los daños económicos es significativo cuando aumenta el nivel del mar. No obstante, su incidencia en el daño medio anual eventualmente disminuye por el decrecimiento de la frecuencia de ocurrencia de los eventos asociados.

El daño medio anual para las condiciones presentes es de alrededor de 25 millones de dólares estadounidenses. Con la actual infraestructura, los daños pueden aumentar entre un 50 y un 100% para la década de 2030, mientras que para la de 2070 el factor de incremento puede estar en el rango de 2,5 a 4. Si se considera el incremento del valor de la infraestructura, el aumento del daño para la década del 2030 puede alcanzar hasta el 200%, mientras que el factor de incremento para la década del 2070 puede llegar a 10.

Evaluación del impacto socioeconómico

La evaluación del impacto socioeconómico de los riesgos que implicaría el Cambio Climático se realizó en base a una propuesta conceptual y metodológica que analiza cuatro dimensiones del riesgo: peligrosidad, vulnerabilidad, exposición e incertidumbre. El diagnóstico de la vulnerabilidad social y la exposición de bienes y personas permiten obtener un panorama general de los impactos mencionados.

El análisis de vulnerabilidad social se basó en un Índice de Vulnerabilidad Social frente a Desastres (IVSD), que combina indicadores representativos de situaciones demográficas, de capacidades económicas y de condiciones de vida de la población en el área de estudio, en relación a un conjunto mayor, en este caso la provincia de Buenos Aires. La aplicación de dos versiones del IVSD (uno en base a valores absolutos y otro en base a valores relativos) permite concluir que los partidos de La Matanza, Esteban Echeverría, Lomas de Zamora y Quilmes son los que presentan los peores valores de toda la zona, lo que hace que se encuentren en situación de desventaja frente a peligrosidades actuales (catástrofes) o futuras (por impacto del Cambio Climático), respecto al resto de las unidades administrativas del área.

El análisis de la población expuesta se realizó a través de un cálculo que combina la cantidad de personas por radio censal, la superficie afectada en cada escenario (actual, 2030, 2070 y 2070 máximo) y la recurrencia en años (1, 5, 10, 20, 50 y 100). Como resultado, se tiene que aproximadamente 1.200.000 personas estarían potencialmente expuestas en el peor de los escenarios futuros posibles, esto es, el 2070 máximo, con una inundación de recurrencia 100 años.

El análisis de los bienes expuestos se realizó en base a un relevamiento de oficinas públicas y de seguridad social, centros de salud, edificios dedicados a la educación, instalaciones de seguridad, áreas de transporte y circulación, industrias y áreas recreativas, para cada una de las unidades administrativas que configuran el área de estudio. Como resultado, se observa que las unidades administrativas con mayor porcentaje de bienes expuestos, bajo cota de 5 metros, son Berisso y Ensenada, mientras que, en términos absolutos, la mayor cantidad de bienes se encuentra en la Ciudad de Buenos Aires, San Fernando, Lanús y Avellaneda.

La evaluación del riesgo, como producto entre la peligrosidad y la vulnerabilidad social, fue realizada calculando un índice de riesgo como la multiplicación entre un índice de peligrosidad (IP), relacionado a la recurrencia de inundación, y el IVSD. Al comparar los resultados obtenidos para la situación actual con el peor escenario posible (2070 máximo), se ha observado que las áreas que potencialmente podrían verse más afectadas en intensidad y en superficie abarcada se encuentran en el partido de Tigre, en las zonas atravesadas por los ríos Reconquista y Matanza – Riachuelo, en las costas de Quilmes y Berazategui, avanzando sobre el partido de La Plata y, de manera creciente hacia el sur-sureste, en todos los partidos que bordean la Bahía de Samborombón entre el litoral y la RP N° 56.

Evaluación de acciones alternativas de defensa

Para el análisis se seleccionó como zona piloto el área costera de Avellaneda (superficie de 1700 ha y perímetro costero de 9 km), que es representativa de un sitio de alta urbanización y nivel socio-económico de medio a bajo. Es de esperarse que resultados similares se obtengan para otras áreas críticas, de dimensiones similares, de la Región Metropolitana de Buenos Aires.

En base a una estimación de los costos de una obra típica de defensa costera, se llegó a un costo total de cerca de 13 millones de dólares estadounidenses, para una altura media del terraplén de 3 m. El costo de relocalización se obtuvo suponiendo que la nueva urbanización tendría un valor similar al de la zona a relocalizar, arribándose a una cifra de alrededor de 350 millones de dólares estadounidenses para toda la zona piloto, es decir, un valor casi 20 veces superior al costo de las obras de defensa.

En el caso de la relocalización, el daño anual por inundaciones se evitaría completamente para esa zona, es decir, el beneficio anual sería igual al daño total anual. La obra de defensa, por su parte, sólo evitaría los daños hasta eventos de nivel pico básicamente igual al del coronamiento del terraplén. En definitiva, el costo total de la obra de defensa se calcula como la suma del costo de la obra más el daño remanente.

Para efectuar un análisis de beneficio-costos de las dos alternativas planteadas, se adoptaron tasas del 1% para el crecimiento del valor de la infraestructura y del 4% para la tasa de

interés, con las cuales se determinaron los valores presentes netos de los daños hasta un horizonte de tiempo de 100 años.

Para la obra de defensa, la relación beneficio/costo sufre un incremento relativamente rápido para la primera década de horizonte de tiempo, y luego tiende a estabilizarse. Al pasar del escenario climático del presente al del 2030, esa relación aumenta en el orden del 10 al 20% luego de la primera década.

Para la relocalización, la relación beneficio/costo aumenta más suavemente con el horizonte de tiempo. Al pasar del escenario climático del presente al del 2030, esa relación aumenta cerca del 60%.

La relación beneficio/costo para la obra de defensa es del orden de 2 a 4 veces mayor que para la relocalización luego de la primera década, para ambos escenarios climáticos. Aún para el horizonte de tiempo de menor diferencia relativa (100 años), el costo absoluto de la relocalización es de 20 a 40 veces mayor que el de la obra de defensa.

Se concluye que, dentro del horizonte de tiempo secular, la relocalización resulta mucho más onerosa que la obra de defensa, tanto en términos absolutos como relativos.

De todos modos, dada la alta sensibilidad observada de la relación beneficio/costo de la relocalización con respecto al escenario climático, debería reanalizarse su conveniencia relativa en caso de que se detecten tasas de incremento del nivel medio del mar más significativas que la tendencia media aquí considerada.

Entre los daños remanentes asociados a la obra de defensa, no considerados en este análisis, se encuentra la componente de inseguridad social que representa el peligro de inundación, cuya justipreciación sería necesario incluir.

Conclusiones

Se ha estudiado la acción del Cambio Climático sobre la zona costera del Río de la Plata en relación a tres problemas principales: las inundaciones de la franja costera, la salinización de las aguas superficiales del río Interior y de los acuíferos, y la evolución morfológica costera.

Las inundaciones en la zona costera del Río de la Plata son consecuencia, primordialmente, del fenómeno meteorológico de sudestada. La frecuencia de sudestadas viene experimentado un leve aumento, tendencia que continuará durante el presente siglo, causando, entonces, un leve aumento en la frecuencia de las inundaciones. El incremento del nivel medio del mar, que durante el siglo XXI será de algunas decenas de centímetros, será la causa dominante del aumento de los niveles máximos alcanzables por el Río de la Plata. El aumento de la frecuencia de vientos del sector este-sudeste se manifestará en un incremento adicional de varios centímetros en el nivel medio del río. El efecto de un eventual incremento del caudal medio de los tributarios principales causaría sólo un aumento del orden del centímetro en el nivel del Río de la Plata Interior, lo que resulta prácticamente despreciable.

Estos efectos no habrán de provocar la inundación permanente de áreas significativas de la costa del Río de la Plata durante el presente siglo, sino un aumento del riesgo de inundación por sudestadas. Desde el punto de vista socioeconómico, las zonas costeras con mayor aumento del riesgo de inundaciones por el Cambio Climático son el partido de Tigre, las cuencas bajas de los ríos Reconquista y Matanza–Riachuelo, las costas de Quilmes y Berazategui, y todos los partidos que bordean la Bahía de Samborombón.

El daño medio anual por inundaciones de la zona costera podría aumentar hasta en un 200% para la década de 2030, mientras que el factor de incremento podría llegar a 10 para la década del 2070. Dentro del horizonte de tiempo secular, la alternativa de relocalizar un sector urbano de alto riesgo de inundación resulta mucho más onerosa, desde el punto de vista puramente económico, que construir una obra de defensa, tanto en términos absolutos como relativos.

Durante el presente siglo no se producirá un desplazamiento significativo del frente salino hacia el Río de la Plata Interior por efecto del incremento esperable del nivel medio del mar. Las reducciones de caudal de los tributarios principales, necesarias para que el avance del frente salino sobre el Río de la Plata Interior produzca impactos significativos sobre usos del agua, deberían ser mayores al 50%, lo cual resulta poco probable durante el presente siglo.

La sobreexplotación de los acuíferos ha producido la inversión del flujo subterráneo, y la consiguiente atracción del agua subterránea salobre o salada alojada en los sedimentos

costeros; tanto la de origen marino como la salinizada por procesos internos. Dado que el aumento del nivel medio del mar esperable para este siglo no sería suficiente como para provocar un aumento significativo de salinidad en el Río de la Plata Interior, no debería esperarse un aumento del riesgo de salinización de acuíferos debido a esa causa.

La evolución de la línea de costa del Río de la Plata Interior está determinada, mayormente, por la acción antrópica, de modo que el Cambio Climático no debería traer aparejado condicionantes severos sobre su dinámica.

Durante los últimos 250 años, el Frente del Delta del Paraná ha avanzado a una tasa media lineal de alrededor de 60 metros por año. Pero esa tasa anual viene disminuyendo sistemáticamente. El incremento del nivel medio del mar y el aumento de la frecuencia de los vientos provenientes del este-sudeste son factores que habrán de producir una disminución adicional de la tasa de avance.

Las siguientes constituyen recomendaciones de políticas públicas. La posibilidad de relocalización de zonas densamente pobladas donde aumentará significativamente el riesgo de inundaciones aparece como remota, debido a los altos costos económicos. La alternativa de construir obras de defensa, más accesibles desde el punto de vista económico, debería ir acompañada de un adecuado programa de educación permanente para la población en riesgo. Para evitar ó mitigar la salinización de los acuíferos es necesario controlar la explotación del recurso, evitando que se continúen en el presente o se retomen en el futuro las condiciones de sobreexplotación. Para manejar la evolución de la línea de costa sería necesario coordinar un programa de manejo integrado para el área metropolitana entre todos los municipios costeros.

EXECUTIVE SUMMARY

The general objective of the study named “Vulnerability of the Coastal Zone”, for the Second Communication on Climate Change, is to establish, based on existing studies and additional analyses of available data, the effects of Climate Change (CC) on the physical dynamics of the Río de la Plata, and on the population dynamics of its coastal zone.

In this Advance Report a compilation, analysis and revision of available information (data, studies) is presented, so as to establish a background on which projections towards the future can be made, to be presented in the Final Report.

Hydrologic characteristics of the Paraná River and the Río de la Plata

The hydrologic regime of the Paraná River shows four different trends: an “ancient stage”, during the period 1902-1970, with a relative statistical stability; a “transition stage”, during the decade of 1970, with a trend of continuous increment of the mean and extreme discharges; a “modern stage”, during the period 1980-2000, of relative statistical stability, with a mean discharge 38% in excess relative to the ancient stage, annual maxima and minima also augmented with respect to the ancient stage, and an increment of the frequency of extraordinary floods; the “present situation”, comprehending the first years of the present century, which, though it is still too soon to assign a statistical significance, shows a mean discharge 21% lower than the one associated to the modern stage, and only 8% higher than the mean discharge of the ancient stage, and with minima similar to the modern stage.

Three different flood waves types can be distinguished for the Paraná River: ‘Ordinary floods’, with peak discharges below 33,000 m³/s in the Paraná-Santa Fe axis, and recurrences up to 5.5 years; ‘extraordinary floods’, with peak discharges below 45,000 m³/s, and recurrences up to 15 years, and ‘exceptional floods’, the remaining ones. In the modern stage, a relative increment of the frequency of extraordinary floods is observed, which is even more notorious for the exceptional floods.

Comparing the quantity of extreme hydrologic events occurred during the ancient and modern stages, it is concluded that there is a higher frequency of high-water peaks during the modern stage, while the frequency of low-water peaks have been similar between them. However, the low-water peaks have been relatively more intense during the modern stage.

In the time series of mean monthly discharges, the spectral components of about 8 years of period, and, in a smaller amount, those of about 4 years, have become more active from the beginning of the transition stage. Those components coincide with the spectral components associated to the phenomenon of El Niño.

In relation to the Río de la Plata, the mean water level in the city of Buenos Aires has increased relatively about 17 cm during the XX century. The astronomical regime of the water level oscillation is micro-tidal, i.e., the amplitude of oscillation is small; hence, the meteorological components have a high relevance. The action of intense local winds generates variations of the water level of several tens of centimeters. Winds coming from the SE produce setup, while those coming from the N and W generate setdown.

High-water stages of the Río de la Plata, associated to 'sudestadas', can be classified into two types: 'Ordinary high-waters', with peak water levels below 3.3 m MOP in Buenos Aires and recurrences up to 5.5 years; and 'extraordinary high-waters', the remaining ones. No change in the frequency of the extraordinary high-water events is observed for the stages after 1970.

The tidal current velocity is dominant, with average velocity amplitude of about 0.45 m/s in the Interior river, and of 0.30 m/s in the Exterior river (the separation between them is the imaginary line Punta Piedras-Montevideo). The current direction is longitudinal in the Interior river, while it varies according to a rounded pattern in the Exterior river. The drift current, produced by the discharge from the main tributaries, varies from about 0.10 to 0.05 m/s in the Interior river, reducing itself to 0.01 m/s in the Exterior river. The residence time is of the order of 1 month for the Interior river, and 3 months for the Exterior river.

The Interior river is constituted by freshwater, while along the Exterior river there is a transition between fresh and saltwater. The salinity distribution throughout the river bottom does not show any evident seasonal trend. On the contrary, the superficial salinity distribution is strongly influenced by winds and the Coriolis force.

During the Paraná River floods, the Entre Ríos Province region of the Bajo Delta constitutes an important flow corridor, while the Buenos Aires Province region acts essentially as a storage zone. Overflow starts for a discharge of about 20,000 m³/s at the Paraná-Santa Fe axis. For normal duration floods, a peak of 56,000 m³/s at the Paraná-Santa Fe axis attenuates about 30% after passing the Delta.

The inundation of the Bajo Delta, under the action of a 'sudestada', starts when the water level in the city of Buenos Aires is about 3 m MOP. Its effect reaches, normally, up to the cities of Campana or Zárate. For the 10-years recurrence phenomena, floods from the Río de la Plata produce higher inundation levels than those coming from the Paraná River for most of the Bajo Delta. For the 100-years recurrence phenomena, floods from the Río de la Plata are more significant up to the city of Atucha, being dominant the Paraná River floods from there upwards.

Precipitations

The precipitations regime for the coast of Buenos Aires Province is characterized by an annual wave which maxima occur during fall and spring, having a small annual amplitude. The total annual precipitation for this region fluctuates around 1,000 mm per year. The mechanisms that produce the most frequent precipitations are the phenomena named fronts, squall lines, low pressure systems and air mass storms. The former three mechanisms produce the most intense (convective) rains, while the last one generates generalized rains with a lower intensity. The most frequent storms have durations between 1 and 2 days, with total accumulated precipitation between 20 and 40 mm. Lengthy and intense rain events are likely, but not frequent, in this region.

The relationship between inundation of the coastal zone and precipitation does not define a pattern of dependency or association, as 50% of the inundations occur without precipitation. Additionally, the major inundations occur without precipitation. This suggests that inundations in the coastal zone are forced, basically, by the atmospheric circulation, dominated in this region by winds from the southeast, and named as "sudestada".

A positive trend (increase of precipitation) can be inferred for the total annual precipitation, the annual frequency of precipitation, the summer total precipitation and the frequency of rainy days for spring. These trends are the result of very long period processes, for which, even if ENSO events exist this effect does not show.

Inundation of the coastal zone

The event of “sudestada”, which produces inundations in the coastal zone of the city of Buenos Aires and of the Great Buenos Aires, is linked to meteorological situations which generate sudden changes in air pressure and winds from the East-Southeast sector on the Río de la Plata, giving rise to a storm surge which superimposes on the astronomical tide. The maxima high-waters levels of the Río de la Plata, associated to “sudestadas”, have variable values, depending on the intensity and persistence of winds and the simultaneous occurrence of the maxima of the storm surge and the tidal wave.

The risk level of inundation associated to events of “sudestada” can be characterized from the following water level thresholds for the Río de la Plata in the city of Buenos Aires: 2.50 m MOP is the warning level; 2.80 m MOP is the emergency level; 3.20 m MOP is the evacuation level. The return period for annual maxima corresponding to the evacuation level varies between 2.5 and 9 years.

The larger floods of the coastal zone in the period 1905-1960 reached levels between 3.15 m and 4.45 m MOP, with the event of July, 1958 (3.85 m MOP) being the one causing the major social and economic damages in the region. In 1989 and 1993, strong inundations occurred, with the water level reaching 4.06 and 3.95 m MOP, respectively. For the 50 years period 1951 – 2000, storm surges have been higher than 3.0 meters three times. If the mean height of the tidal wave (0.90 m) is added, it comes out that they correspond to extreme inundation cases. 80% of the events of “sudestada” lasted less than 60 hours, and 8% (approximately 25 “sudestadas”) were higher than the evacuation level in those 50 years, which means approximately one each 2 years.

The annual maxima storm surge height shows an increasing trend since 1950 to 1993, with higher variation since about 1980.

Evolution of the coastline

From the comparison of historical maps close to year 1950, and present satellite images, the evolutionary trend of the coast of the Río de la Plata was verified. The comparison of both records took place after a matching geographical references, scales and system of reference.

From the comparison of records 151 polygons arose, totalizing an area of 38.10 km². From that surface, 18.94 km² correspond to zones of coastline regression and 19.16 km² to zones of ingression.

The evolution of the coastline follows a natural pattern, but the most important changes, as a continuation of a process of coastal modification initiated during the XIXth century, are the result of anthropogenic action. The coastal regression is due partly to erosion, especially in the Punta Indio zone, and partly to anthropogenic action, in relation with the construction of docks in 'Dock Sud' Port. The ingression of the coast is due to sedimentation in Punta Atalaya, induced sedimentation in the southeastern side of groins, and artificial nourishment in San Isidro, Vicente Lopez and the city of Buenos Aires.

The movement of sediments along the coast confirms the trend that took place during the Holocene, from southeast to northwest.

Advance of the Delta Front

Existing bibliography on the Delta advance is scarce. Previous to 1980 there are descriptive works. Only in the decade of the eighties a geomorphologic map on the evolution of the delta complex is produced, starting a stage of study with a technically modern vision about the Delta and its associated geofoms. In the nineties an evolutive scheme about the areal increment of the Martín García Island, the delta front advance and the associated coastal geofoms, is elaborated. Finally, between 2003 and 2005 works are produced about the advance of the Paraná River delta and the determination of the areal rate of increase since the end of the XIXth centry up to the present times, discriminated in different subzones.

Groundwater flow and pumping trends

The overexploitation of the Puelche aquifer in the metropolitan areas, up until the end of the 80's, originated groundwater flow inversions and big depression cones in its piezometric surface. This meant an extreme lowering of the phreatic surface and the artificial transformation of some streams in water losers. The Pampeano aquifer got dry in the deepest parts of the cones, when the phreatic surface lowered down to the top of the Puelche. This generated environmental problems: saline intrusion (because of brackish and saline ground water from "gerandinenses" marine sediments of the Holocene) and pollution coming from the Pampeano (nitrate, mainly).

The economical and political changes since the beginning of the 90's (decrease of the industrial exploitation of the Puelche; privatization of water supply services, prioritizing the use of water from the Río de la Plata in detriment of groundwater; loss of the Estate's control on the water resources; fault in Estate's control of privatized sanitary services), produced a sudden decrease of the exploitation of the Puelche in several metropolitan zones, generating the elevation of the piezometric and phreatic surfaces. The "importation" of water from the Río de la Plata towards the ground through absorbing pits in several areas, without the construction of sewer systems, produces an extra recharge of groundwater which contributes to the phreatic level increase. There are some floods due to superficial outcrop of phreatic water.

Population settlements and migrations

The Agglomeration Gran Buenos Aires, the largest inhabited locality of the country, has changed in demographic and spatial characteristics, by extending on its surroundings, incorporating new areas or mixing with other localities. In 1991 the Agglomeration was constituted by the city of Buenos Aires and twenty six districts from the Province of Buenos Aires, which surface and population integrate totally or partially the urban spot.

The occupation and growth were different along the time. Between 1880 and 1929 the consolidation of Argentina as an agro-export country and the immigration of big amounts of population, had a prevailing influence. The Agglomeration show then the highest increase rate (from 671,383 inhabitants in 1904 to 1,883,811 inhabitants in 1914), which partly settled on

flooding areas on the fluvial valleys of the rivers and mainly to the south of the city of Buenos Aires and surrounding areas. At the ending of this period, big hydraulic works constructed by the National Government, led to the rapid occupation of previous flooding zones.

From 1930, the process of industrialization by substitution of importations, centred in the fabrication of consuming goods for the internal market, internal migrations and policies of income redistribution determined the Agglomeration's configuration. The construction of tall buildings made the city of Buenos Aires denser. Since 1940 a second process of suburbanization started, with an extraordinary growth of urban peripheral neighbourhoods due to the development of small and medium size factories, construction of houses and the appearance of massive lots sales through private promoters. At the same time, another form of housing grew up for the lowest income sectors, the "misery villages". Massive lots sales and misery villages stood on the floodplains of rivers running across the Agglomeration. Even though since 1956 the income redistribution and transport subsidies policies ended, the Agglomeration perimeter kept moving through land marketing and illegal occupations. The population growth in the districts located far from the city of Buenos Aires, with the occupation of maximum recorded floods areas. In 1970, the Agglomeration had 8,432,150 inhabitants.

Since 1976 to the present time, aspects linked to the military dictatorship and to the reestablishment of democracy had a big influence. The military regime imposed norms pointing to a territorial organization which increased spatial segregation. In the city of Buenos Aires, plans for the eradication of misery villages and construction of big infrastructure works for car circulation were implemented, rising the property value at the centre of the city, and pushing the low-income sectors towards the periphery of the Agglomeration. Due to the increase of costs, the real state promoters pointed to high-income sectors, developing weekend houses, mostly towards the north of the Agglomeration. The reestablishment of democracy in 1983 was accompanied by the reinstallation of some misery villages, the illegal appropriation of abandoned houses and the growth of low-class hotels in the city of Buenos Aires, while in the periphery the popular sectors started to occupy land through settlements, localizing most of them in flooding areas close to pollution sources. During the 90's, the reform of the State, the economic deregulation and the privatization of services produced deep transformations. The urbanizations of middle and high-class sectors were relevant, being

predominant the closed neighbourhoods in areas far from the periphery, mostly in the northern zone of the Agglomeration. In some cases, closed urbanizations expanded on flooding areas which had not been yet occupied.

The last available figure for the population (2001), indicates that within the area of the Agglomeration there were 12,045,921 inhabitants. 25% of that surface is in flooding areas that grown both through both illegal lot sales/ occupation and closed real state undertakings.

The colonization of the Delta started in the second half of the XIX century. The culmination of this period occurred between 1920 and 1940, based on fruit and legume production, forestry products, and, to a lower extent, livestock. In the 30's the Delta reach a population of 40,000 inhabitants, the highest in its history.

Since 1950, emigration from the Delta towards the urban areas occurred, due to the attraction exerted by the industrial development. During this period, in the sector of the Buenos Aires Province forestry emerged as the practically unique exploitation; in the Entre Ríos sector livestock continued to be main activity; in the Delta zone closest to the city of Buenos Aires recreation activities for the urban population develop. During the last decades, forestry exploitations increased their size, changed their working techniques and, as a consequence, some impact on the environment is detected. Together with these transformations, big infrastructure works were proposed and implemented.

Wind Trends

The decadal analysis of annual wind frequency, from decade 1951-1960 to 1991-2000, shows a drop of about 3% in the frequency of SW winds, while SE winds also indicate a negative trend of approximately 2% at the beginning, followed by a rapid increase of about 2.5% during the decade 81-90, maintaining approximately within the new range up to the end of the century.

The study of annual frequencies and their variability, for the two wind directions of interest (SE and SW), also indicate a noticeable rise in frequency for all seasons since 1990.

Two wind indices were defined, as the difference in surface pressure between two points, which make it possible to estimate the wind direction in the study area, independently of eventual anthropogenic influence (changes of measuring instruments, local effects due to different heights of installation for instruments, closeness to obstacles, etc.). From the comparison with wind records at the OCBA (Observatorio Central Buenos Aires), it can be concluded that the indices are able to filter anthropogenic effects, and that, additionally, they constitute a very good estimate, particularly for winds associated to risk of 'sudestadas' (and the consequent flood), filtering out calm periods.

The frequency of 'sudestadas' shows an increase towards the end of last century, without constituting a simple or linear law.

The rainfall regimen of thos region is closely related to southeast winds, although not necessarily in the extreme rainfall distribution range. On the contrary, southwest winds are related only sporadically and with low probability of occurrence to rain, and in no case with the most intense ones. This can be explained because, except for very short periods (during front passages), southwest winds imply a drop in the rainfall generating activity.

Within the rainfall regimen, and in particular the extreme range, there is no explicit relation between 'sudestadas' and rainfall or extreme rainfall. Some exceptions occur, with low probability of occurrence.

There is an increase in frequency of the summer circulation mode towards the end of the last century, at the expense of the predominant mode for winter. This behavior indicates a more definite circulation field associated to easterly winds in the Rio de la Plata region.

Results obtained from General Circulation Models, using IPCC scenarios, indicate that the frequency of southeast winds –and, consequently, the frequency of 'sudestadas'- will increase during the present century.

Effects of Climate Change on the average and extreme Hydrology of the Paraná River and Río de la Plata

Extreme peak discharges of the Paraná River originate, usually, from the central and southern zones of the upper Paraná basin, especially in the middle zone. The contribution from the northern zone of the upper Paraná basin is not only generally low, but sometimes it is even negative.

Consistent evidences have been found about the relationship between discharges of the Paraná River and the ENSO phenomenon. In particular, two thirds of the largest peaks (and the major contributions from the central zone of the upper Paraná basin) occurred during El Niño events, and none during La Niña phase.

One third of the major discharges of the Paraná River took place during the spring or summer of neutral periods, which clearly indicate that they were not forced by ENSO. Then, other atmospheric factors, not modulated by SST, may have an influence on the precipitation associated to some high discharges.

Due to the repetition of extreme floods of the Paraná River (1982-83 y 1992), the “Emergency Program for Floods” was implemented during the period 1992-1996. Its continuation was the “Project for Protection against Floods”, presently about to end.

Only under an exceptional condition, of which there is only one record (1983), high discharges from the main tributaries of the Río de la Plata may have a significant effect on its levels. However, that would not be high enough to generate flood warning conditions.

Reductions in discharge necessary for the saline front to advance within the Interior Río de la Plata, producing significant impacts on the water use, are not likely during the present century.

The mean sea level rise acts as a global forcing for the whole Río de la Plata, dragging practically as a block the mean water level. Besides, as a result of the order of magnitude of the expected rise during the XXIth century, its effects on the water levels (and, in particular,

on floods), would be much more significant than that associated to potential increases in the discharge of the tributaries.

With the expected increments in mean sea level for the present century, there will not be a significant displacement of the saline front within the Interior Río de la Plata, such that it could produce significant impacts on the water use.

The value of the expected increase in water level, as a result of the variation of the summer wind pattern, is intermediate between those associated to an increment in the discharge of the tributaries and to the mean sea level rise.

Coastal Protection Structures

The Río de la Plata coastal defenses are mainly associated to the presence of reclaimed lands and harbor facilities. In addition, there are structures associated to fishing wharves and water intakes.

Coastal defenses build for reclaimed land protection consist of revetments and concrete seawalls; e.g., along the coasts of San Isidro, Vicente Lopez, the city of Buenos Aires, Quilmes and Punta Lara.

The harbor structures consist basically of jetties and breakwaters: The main ones correspond to the ports of San Isidro, Olivos, Buenos Aires, Dock Sud and La Plata.

It is also significant the presence of piers, and fishing and recreational wharves, like the 'Club de Pescadores' and 'Pejerrey Club'.

Map for the Delta Front Advancement

Since 1750 to the present time, i.e., during roughly the last 250 years, the Paraná Delta, in the section limited by Province of Buenos Aires coast, the Paraná Guazú River and the current delta front, has increased its surface in around 650 km². This constitutes a lineal growth of about 15 km, i.e., 60 meters per year.

But the accretion rate has diminished: between 1750 and 1800 the delta expanded its surface in 230 km²; between 1800 and 1850, it increased in 148 km²; between 1850 and 1900, 118 km²; between 1900 and 1950, 96 km², and from 1950 to the present time it increased in 58 km².

The increment in the mean sea level and the increase in the frequency of wind coming from the eastern direction, with the consequent increase in water heights, are factors that will produce a decrease in the rate of advancement of the Delta front. Moreover, a possibility arises that those regressive factors may produce a change in dynamics, evolving from a regression to a transgression, then producing a redistribution of the deltaic material, which would then transform in a marsh and afterwards, partially, in a tidal plane.

Erosion of riparian and coastal zones

The banks of the lower stretch of the Paraná River are frequently subjected to sliding phenomena, on both sides (Entre Ríos and Santa Fe Provinces), linked to meander migration.

When reaching the Province of Buenos Aires, meanders migrate across the alluvial plane, without affecting high terrains, so sliding is minimal and low in magnitude. However, significant fluvial erosion occurs, which changes the riparian border.

The mean sea level rise implies destructive processes, which concentrate mainly onto the lower coasts and micro-cliff coasts constituted by soft rock. The Paraná River Delta is the area with the greatest degree of vulnerability.

The ill-management of the coastal area is a very significant factor in the increment of vulnerability.

The area of the Río de la Plata has a low seismic index, but it should not be ignored that on 5 June, 1888, an earthquake of magnitude 5.5 and intensity VI occurred. Earthquakes can produce tsunamis, which constitute an additional risk.

Conditions of the aquifers

Anomalies in groundwater flow (because of overexploitation which generates piezometric depression cones) are correlated with anomalies in total dissolved solids content, that clearly reflects the lateral saline intrusion suffered by aquifers from the littoral of the Río de la Plata, and from the low basin valleys of its main tributaries, due to inversion of the natural outflow by artificial inflow. Thus, an attraction occurs of brackish or saline groundwater from coastal sediments of marine or paleoestuaries origin, and from aquifers in contact with them; or high-salt-content water, due to long residence time along zones with very low hydraulic gradients, that produce minimal movement; or due to complex chemical reactions, like oxidation of sulphide to sulphate, among others.

The direct contact of Postpampeano with Puelche in many zones of the coastal plain (because of total erosion of Pampeano, that keep them apart in elevated areas), made it easier the inflow of marine water to the Puelche, mainly during the maximum holocene ingression.

As the expected mean sea level rise for the present century would not be enough to produce a significant salinity increase in the Inner Río de la Plata, an increase in the risk of aquifer salinization due to the elevation of sea level should not be expected.

The salinization process, induced by overexploitation of groundwater resources, could continue if overexploitation practices are again undertaken where they have stopped (e.g.: Quilmes), or if they do not stop where they are still in present (e.g.: Berazategui).

Danger of flood

The areas most affected by floods due to storm surges (associated to 'sudestadas') are the southeast coast of the Great Buenos Aires and the district of Tigre.

The mean sea level rise is the dominant effect in the Exterior Río de la Plata. In the Interior River, the increase produced by changes in the wind direction is added.

For the 2030 decade, the maximum mean water level rise of the Río de la Plata would correspond to winter, while for the 2070 decade the increase would be more even, with values somehow higher for spring.

Climate Change will not produce permanent flooding of significant areas on the Argentine coast of the Río de la Plata during the present century.

The three coastal zones most vulnerable to increase in flooding due to Climate Change are: the Paraná Delta Front, the coastal strip which extends from Berisso-Ensenada to Berazategui-Quilmes, and a strip south of Samborombón Bay. Additionally, the risk will increase in the lower basin of Matanza-Riachuelo and Reconquista Rivers.

Evaluation of economic damage

The increment in economic damages is significant when the sea level rises. However, its incidence on the average annual damage eventually diminishes, due to the decrease of the frequency of occurrence of the associated events.

The average annual damage for the present conditions is about 25 million american dollars. With the present infrastructure, damages can rise between 50 and 100% for the 2030 decade, while for the 2070 decade the factor of increment would be in the range 2.5 to 4. If the increment in the value of the infrastructure is considered, the increase in damage for the 2030 decade may reach 200%, while the increment factor for the 2070 decade may rise to 10.

Evaluation of socioeconomic impact

The socio-economic impact assessment of risks implied by Climate Change was performed based on a conceptual and methodological proposal which analyzes four dimensions of risk: hazardousness, vulnerability, exposition and uncertainty. The diagnosis of social vulnerability and the exposition of assets and persons, provides a general view of these impacts.

The social vulnerability assessment was based on a Social Vulnerability Index facing Disasters (IVSD). This index combines indicators of demographic situation, economic capabilities and life conditions of the population living in the study area, in relation with a

major set (in this case, the Province of Buenos Aires). The application of two versions of IVSD (one based on absolute values, and the other on relative ones) leads to the conclusion that the municipalities of La Matanza, Esteban Echeverría, Lomas de Zamora and Quilmes show the worst values for the study area. Then, they are in a disadvantageous situation in relation with the other administrative units of the area, when facing current (catastrophes) or future (through Climate Change impacts) hazardousness.

The analysis of exposed population was made through a calculation which combines the number of population per censal radius, the affected area for each scenario (current, 2030, 2070 and 2070 maximum), and the return period in years (1, 5, 10, 20, 50 and 100). As a result of such analysis, it is estimated that around 1,200,000 people would be potentially exposed for the worst future scenario (2070 máximo), with a flood of 100 years recurrence.

The analysis of exposed assets was made through a survey of public and social security offices, health care centres, scholar buildings, security installations, transport and circulation areas, industries and recreational areas, for each administrative unit included in the study area. As a result of this analysis, it is observed that the administrative units with the higher percentage of exposed assets, located below 5 meters of elevation, are Berisso and Ensenada. In absolute terms, the largest quantity of assets is located in the city of Buenos Aires, San Fernando, Lanús, and Avellaneda.

Risk assessment -as the product of hazardousness and social vulnerability-, was performed through the calculation of a risk index as the product of a hazardousness index (IP), related to flood recurrence, and the IVSD. When comparing the current situation with the worst possible scenario (2070 maximum), it is observed that the areas potentially most affected -both in intensity and in area- are located in the municipality of Tigre, in the area crossed by the Reconquista and Matanza-Riachuelo Rivers, in the coast of Quilmes and Berazategui, and in the municipality of La Plata; the affected area grows to the South-Southeast, including all the municipalities around the Samborombón Bay, between the Río de la Plata littoral and the provincial route N° 56.

Evaluation of alternative actions for defence

A test zone located on the coastal area of Avellaneda (surface of 1700 ha and coastal length of 9 km) was selected for the analysis, which is representative of a site with high urbanization and middle to low socio-economic level. It is expected that similar results would arise for other critical areas, with similar dimensions, of the Metropolitan Region of Buenos Aires.

Based on cost estimation for a typical coastal defence works, an amount close to 13 millions American dollars was obtained, for an average embankment height of 3 m. The relocation cost was estimated assuming that the new urbanization would have an economic value similar to the one of the present zone, i.e., close to 350 million american dollars, which is about 20 times higher than the defence works cost.

In the case of relocation, the annual damage due to flooding would be completely eliminated for that zone, i.e., the annual benefit would be equal to the total annual damage. In turn, the defence works would only avoid damages associated to events whose peak level is not higher than the embankment top level. Hence, the total cost of the defence works must be calculated as the addition of the direct cost of the works plus the remaining damage.

To carry a benefit-cost analysis of the two alternatives, rates of 1% for the increment of the economic value of the infrastructure, and 4% for the interest rate, based on which the net present values were calculated for a time horizon of 100 years.

For the defence works, the relation benefit/cost shows a relatively fast increment for the first decade of the time horizon, and a stabilizing trend from there on. If the climatic scenario of 2030 is considered, that relation increases in the order of 10 to 20%, after the first decade.

For the relocation, the relation benefit/cost increases more slowly with the time horizon. When the climatic scenario of 2030 is considered, the relation increases close to 60%.

The relation benefit/cost for the defence works is about 2 to 4 times higher than for the relocation, after the first decade, for both climatic scenarios. Even for the time horizon of smallest relative difference (100 years), the absolute cost of relocation is from 20 to 40 times higher than for the defence works.

It is concluded that, within a secular time horizon, relocalization is much more costly than defence works, in both absolute and relative terms.

However, due to the high sensitivity of the relation benefit/cost of relocalization with respect to the climatic scenario, its convenience should be reanalyzed in case higher than expected rates of mean sea level rise were detected.

Among the remaining damages associated to defence works, not considered in the present analysis, the component of social insecurity linked to the danger of flooding is included, which value should somehow be evaluated and included.

Conclusions

The action of Climate Change on the coastal zone of the Río de la Plata has been studied, in relation to three main problems: flooding of the coastal strip, salinization of superficial waters of the Inner river and of the aquifers, and the evolution of the coastal morphology.

Floods in the coastal zone of the Río de la Plata are, primarily, a consequence of the meteorological phenomenon known as 'sudestada'. The frequency of 'sudestadas' is increasing slowly, causing, then, a light increase in the frequency of floods. The mean sea level rise, which will be of some tens of centimetres during the XXIth century, will be the main cause of increase of the maximum water level attained by the Río de la Plata. The increase in frequency of winds from the east-southeast sector will produce an additional mean water level rise of a few centimetres. The effect of an eventual increase of the mean discharge of the main tributaries would cause only a water level rise of the order of one centimetre in the Inner Río de la Plata, which results practically negligible.

These effects will not produce permanent flooding of significant areas of the coastal zone of the Río de la Plata during the present century, but an increase in the flooding risk due to sudestadas. From the socioeconomical point of view, the coastal areas with larger flood-risk increase, due to Climate Change, are the district of Tigre, the lower basins of Reconquista and Matanza–Riachuelo Rivers, the coasts of Quilmes and Berazategui, and all the districts with borders on the Samborombón Bay.

The mean annual damage due to flood of the coastal zone could increase up to 200% for the decade of 2030, while the factor of increment could reach to 10 for the decade of 2070. Within the present century, the alternative of relocalization for an urban sector with a high risk of flooding is much more costly, from the exclusively economical point of view, than building defence works, both in absolute and relative terms.

During the present century there will not be a significant displacement of the saline front, towards the Inner Río de la Plata, produced by the expected mean sea level rise. Reductions in the discharge of the main tributaries, necessary for a displacement of the saline front towards the Inner river which could produce significant impacts on the water uses, should be higher than 50%, which does not seem likely during the present century.

Overexploitation of aquifers have produce an inversion of groundwater flow, and the consequent attraction of saline water stored in the coastal sediments, including that of marine origin and that produced by internal processes. As the expected mean sea level rise for the present century would not be enough to produce a significant increase of salinity in the Inner Río de la Plata, it should not be expected any increase in the risk of aquifer salinization due to this cause.

The evolution of the coastline of the Inner Río de la Plata is determined, mostly, by anthropogenic action, so Climate Change should not introduce any severe conditioning on its dynamics.

During the last 250 years, the Paraná Delta Front has advanced with a mean linear rate of about 60 meters per year. But that annual rate is decreasing systematically. The mean sea level rise and the increase in frequency of winds from the east-southeast sector will produce an additional decrement of the advancement rate.

The following constitute recommendations of public policies. The possibility of relocalization of densely populated zones, where the flood risk will increase significantly, seems remote, due to the high economical costs. The alternative of building defence works, more accessible form the economical point of view, should be paralleled with an adequate program of permanent education for the population at risk. To avoid or mitigate aquifer salinization, it is

necessary to control the resource exploitation, avoiding that overexploitation practices continue or are retaken. To manage the evolution of the coastline, it would be necessary to coordinate a program of integrated management for the metropolitan area, among all coastal municipalities.