



EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA COSTA ARGENTINA DEL RÍO DE LA PLATA



Vicente Barros y colaboradores

FUNDACIÓN CIUDAD

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA COSTA ARGENTINA DEL RÍO DE LA PLATA

Vicente Barros y colaboradores

FUNDACIÓN CIUDAD

El Cambio Climático y la Costa Argentina del Río de La Plata / Vicente Barros...[et al]. –
1º ed. – Buenos Aires : Fundación Ciudad, 2005.
44 p.; 30x21 cm.

ISBN 987-1032-04-8

1 Climatología.
CDD 551.609 82

© 2005 FUNDACIÓN CIUDAD

Redacción:

Carmen Dolores Manfredi - FUNDACIÓN CIUDAD

Diseño e ilustraciones:

Marta Biagioli

Fotografía de tapa:

Sudestada, en 1929.

Colección Dirección de Construcciones Portuarias
y Vías Navegables

Coordinación Gráfica:

Pablo Casamajor

I.S.B.N. Nº 987-1032-04-8

Hecho el depósito que marca la Ley 11.723

Impreso en la Argentina

Impresión: Talleres Gráficos Leograf
Rucci 408 - Valentín Alsina, febrero de 2005

FUNDACIÓN CIUDAD

Galileo 2433 -P.B. (1425) Capital Federal

E-mail: f.ciudad@interlink.com.ar

PALABRAS INTRODUCTORIAS

Esta publicación tiene como objeto difundir en forma accesible al público general los resultados del Proyecto *Impactos del Cambio Global en las áreas costeras del Río de la Plata* (AIACC LA 26).

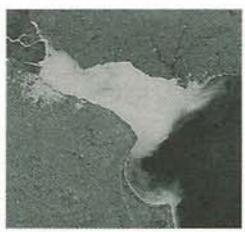
El proyecto *Assessments of Impacts and Adaptation to Climate Change* (AIACC) es un proyecto internacional dirigido a estimar los impactos del cambio climático y evaluar las posibilidades de adaptación al mismo en los países en desarrollo. Es un Proyecto conjunto del START (Sistema para el análisis, investigación y entrenamiento, del Cambio Global), el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Academia del Tercer Mundo (TWAS). Fue financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) y otras agencias internacionales y de países desarrollados.

AIACC ha seleccionado y financiado 24 proyectos en distintas regiones, 6 de ellos en América Latina y el Caribe. El Proyecto AIACC LA 26 ha tenido como contrapartida local, los fondos del Proyecto Estratégico sobre inundaciones de la Universidad de Buenos Aires. Los investigadores del Proyecto pertenecen a las Facultades de Ciencias Exactas y Naturales, Filosofía y Letras e Ingeniería de esa universidad. Participaron también investigadores de la Universidad de la R. O. del Uruguay.

El financiamiento de esta publicación fue posible por un subsidio adicional para AIACC de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AJD). La adaptación de la información técnica y la redacción fueron realizadas por la Fundación Ciudad.

El documento consta de tres partes. En la primera se hace una breve introducción a la problemática del Cambio Climático. En la segunda se describen las tendencias climáticas en la Argentina durante las últimas décadas y en la tercera se trata el tema de fondo de la publicación, esto es el impacto del Cambio Climático en la zona costera argentina del Río de la Plata.

ÍNDICE



Capítulo 1

INTRODUCCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	pág. 7
¿De qué se trata?	pág. 7
¿Qué se espera en el futuro?	pág. 10
Impactos del Cambio Climático	pág. 13
El Cambio Climático ya es inevitable	pág. 13

Capítulo 2

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ARGENTINA	pág. 15
¿Qué ha estado pasando con el clima?	pág. 15
Consecuencias de los cambios en la precipitación	pág. 18
Atribución de los cambios en la precipitación en la Argentina al Cambio Climático	pág. 22

Capítulo 3

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA COSTA ARGENTINA DEL RÍO DE LA PLATA	pág. 23
Geografía	pág. 23
Los factores que determinan el nivel medio del Río.	pág. 25
Tendencias observadas.	pág. 26
El Cambio Climático y los factores que afectan el nivel del Río... .	pág. 29
Modelado del Río de la Plata.	pág. 29
Metodología para la estimación de la recurrencia de inundaciones	pág. 31
Recurrencia de inundaciones en la actualidad.	pág. 32
Proyecciones para el Siglo XXI	pág. 33
Vulnerabilidad.	pág. 35
Adaptación	pág. 38
REFERENCIAS	pág. 41

INTRODUCCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO



Vicente Barros

El acelerado crecimiento del consumo y la población en los últimos 200 años llevó a una creciente demanda de recursos naturales y energía, que favorecida por el enorme desarrollo tecnológico produjo importantes impactos en la vida del planeta.

Dentro de dichos impactos, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, es según el consenso científico, una de las principales causas de la alteración del clima global: el inusual calentamiento del planeta, conocido como Cambio Climático.

Las graves consecuencias de este proceso ya se han hecho evidentes con innumerables manifestaciones y sin una política global de reducción significativa de las emisiones, la amenaza para la vida del planeta es más que inquietante.

¿De qué se trata?

Los cambios en el clima del planeta a través del tiempo fueron y son producidos por diversos procesos naturales que afectan al sistema climático o a alguno de sus componentes.

Durante mucho tiempo se habló de Cambio Climático para designar esas variaciones. A partir de la Conferencia de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992, se genera-

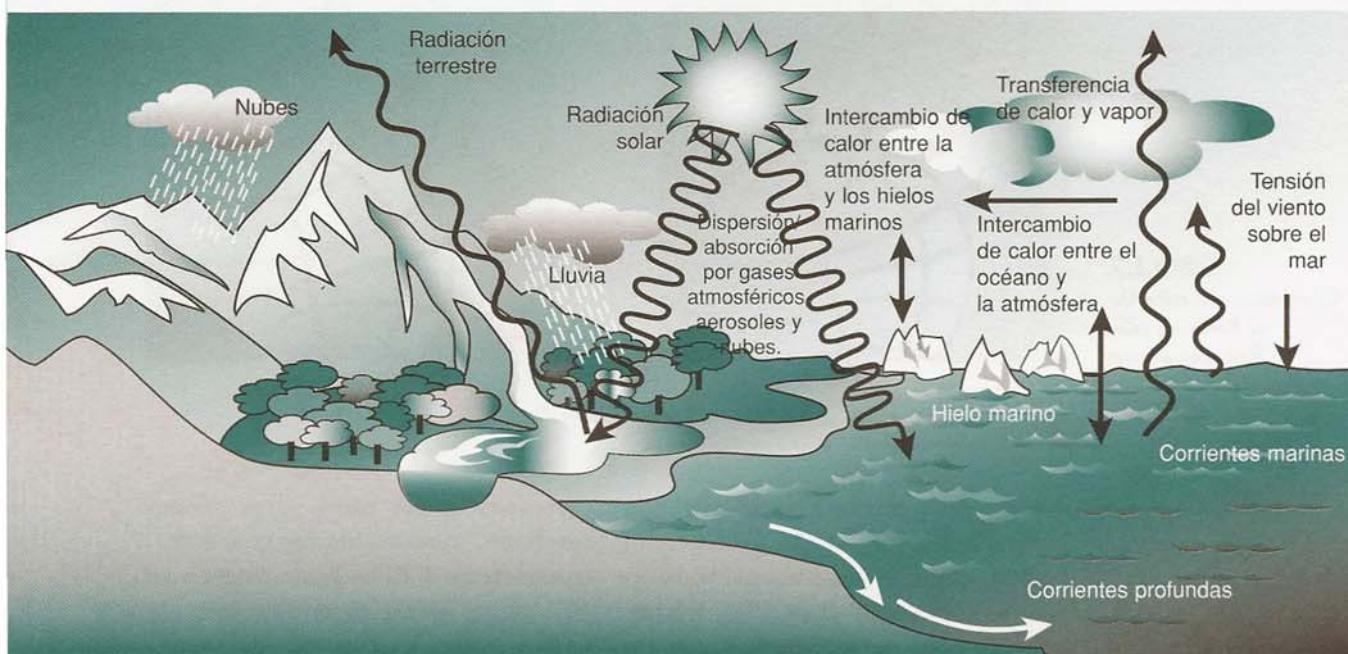
lizó el uso de la expresión Cambio Climático identificándolo con el cambio originado por la actividad humana que altera la composición química de la atmósfera produciendo el calentamiento global del planeta.

Radiación solar y terrestre

La tierra recibe energía del sol en forma de radiación electromagnética que por

Figura 1-1

Esquema de los componentes del Sistema Climático global, de algunos de sus procesos y de sus interacciones.



provenir de un cuerpo de alta temperatura (alrededor de 6000 °C) se propaga en ondas de longitud muy corta.

A su vez la superficie terrestre y la atmósfera emiten radiaciones con una longitud de onda más larga ya que provienen de un cuerpo mucho más frío. (*Figura 1-1*)

El clima depende del **equilibrio energético** entre estos dos tipos de radiaciones.

► La Atmósfera

La atmósfera, capa gaseosa que rodea el planeta es uno de los componentes más importantes del sistema climático.

¿Cómo actúa la atmósfera respecto de la radiación?

Los cuerpos absorben y transmiten la radiación electromagnética en forma diferente según la longitud de onda de ésta. Es el caso de la atmósfera que deja pasar las radiaciones solares pero no permite el paso de la mayor parte de las radiaciones terrestres.

Sin embargo, cuando éstas son emitidas en una cierta longitud de onda encuentran una vía de escape a través de la atmósfera hacia el espacio exterior por la llamada **ventana de radiación**.

► Efecto invernadero

La atmósfera está compuesta por diversos gases, en su mayor parte Nitrógeno y Oxígeno, pero también por el vapor de agua (HO_2), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) entre otros, que son gases de efecto invernadero (GEI). Estos gases absorben parte de las radiaciones terrestres causando un aumento de la temperatura. A este fenómeno natural se lo llama efecto invernadero. Se trata de una analogía entre la estructura de la atmósfera y los materiales que conforman un invernadero: transparentes para las radiaciones solares y opacos para las terrestres. Este efecto invernadero natural conduce a una temperatura superior en 30°C a la que se registraría en ausencia de la atmósfera (*Figura 1-2*).

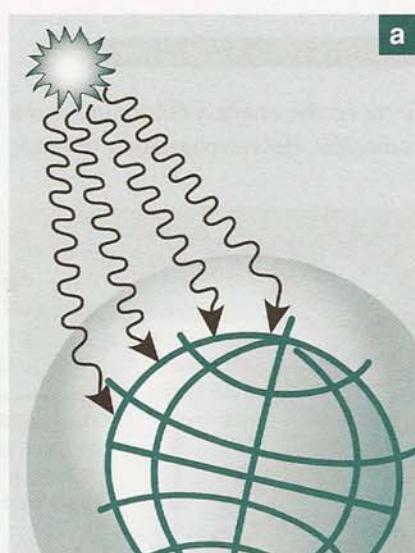


Figura 1-2
La atmósfera y la radiación
a) Radiación solar
b) Radiación terrestre

► Causas del calentamiento global

A partir de la revolución industrial con la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural se ha liberado gran cantidad de CO_2 a la atmósfera y lo mismo ocurrió con las

emisiones de los otros gases. Como resultado, aumentaron las concentraciones de los GEI en la atmósfera y se incrementó el efecto invernadero. Al CO_2 le corresponde el 50% del poten-

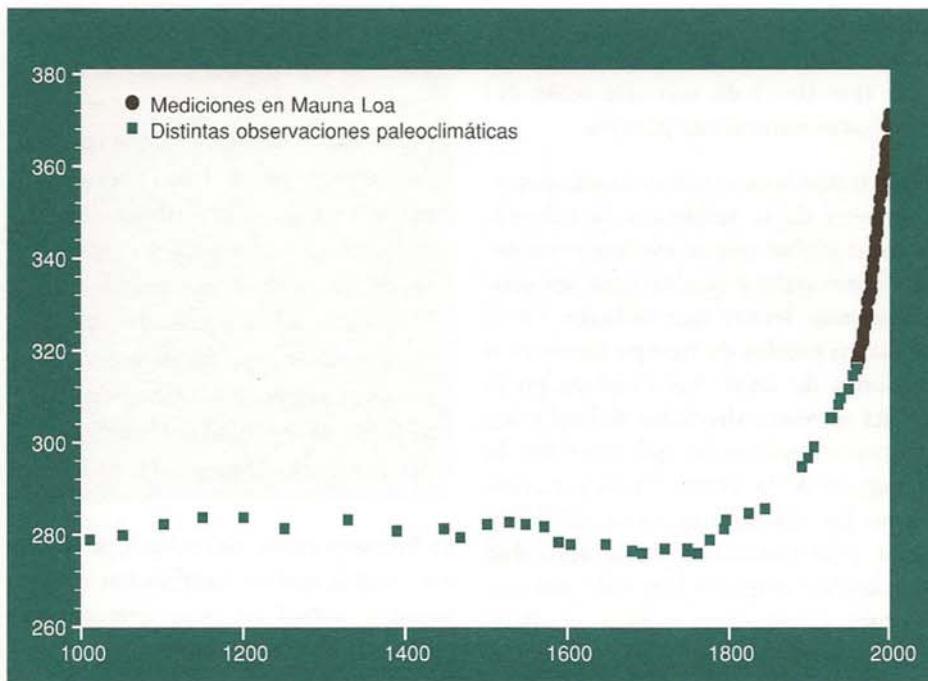


Figura 1-3

Concentración de Dióxido de Carbono en partes por millón.

cial de calentamiento por emisiones humanas de GEI. El otro 50% corresponde al metano, los freones, y el óxido nitroso. También el talado de bosques y/o su quema para liberar terrenos para la agricultura, interfiere en la forma natural que tiene el planeta de equilibrar la concentración de GEI. En el último siglo y medio, como consecuencia de la actividad humana hubo

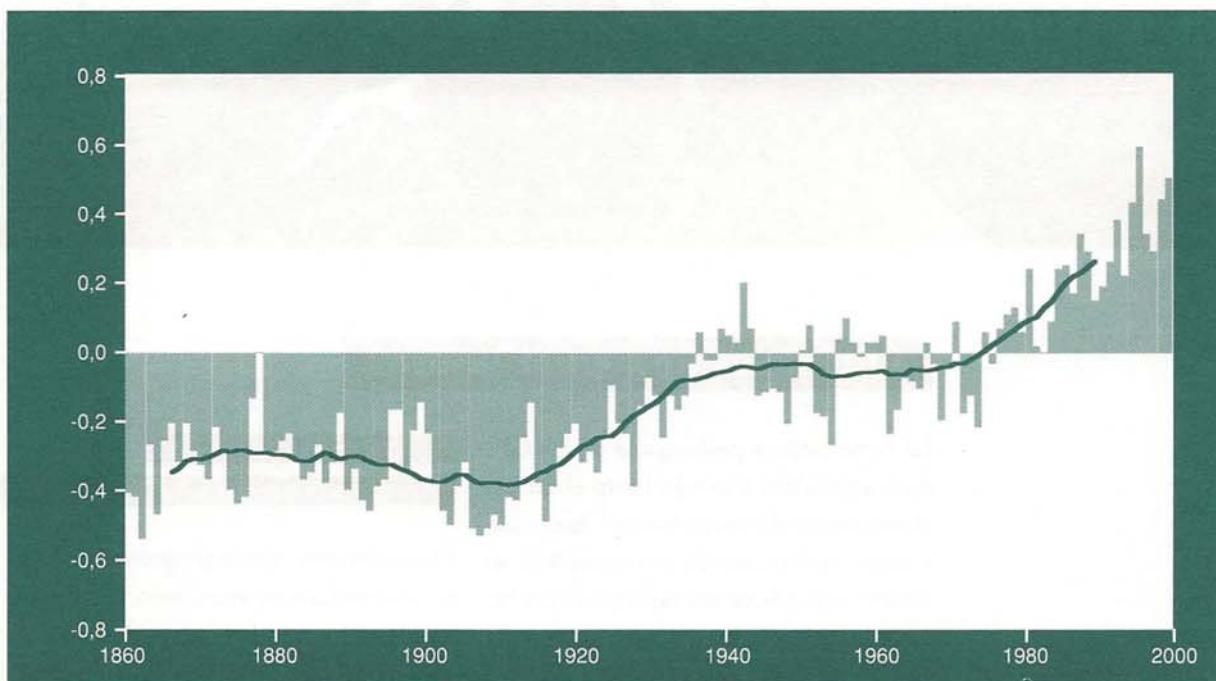
un aumento del 30% de la concentración de CO₂, un 150% del metano y un 16% del óxido nitroso en la atmósfera. (Figura 1-3).

Por otra parte, en los últimos 150 años también hubo un aumento de 0,6°C en la temperatura de la superficie terrestre en ambos hemisferios. (Figura 1-4).

Una de las posibles causas de esta tendencia es el aumento del efecto inver-

Figura 1-4

Apartamiento de la temperatura media del planeta (°C) en sup. respecto del promedio 1950 - 1980.





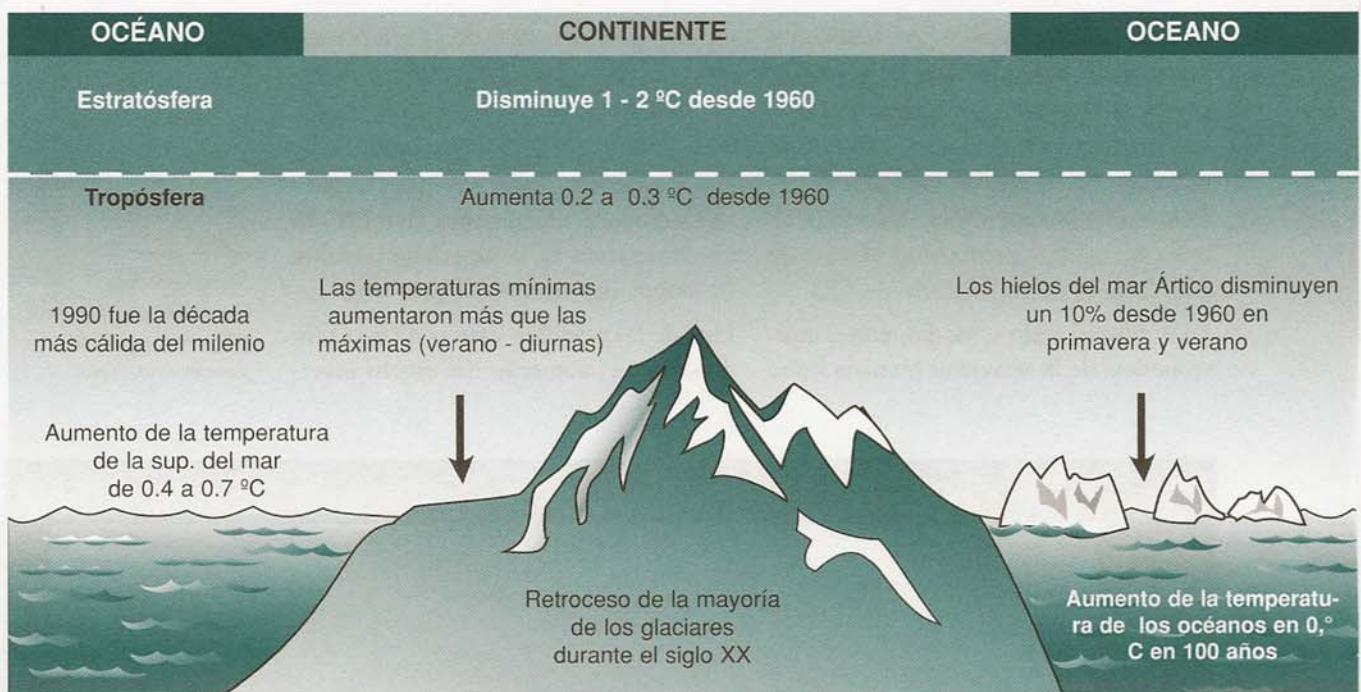
nadero causado por el Hombre. Esto se traduce en un aumento de la temperatura terrestre y en una alteración del equilibrio natural del planeta.

Deben descartarse como causas determinantes de la tendencia al calentamiento global que se evidencia en este último siglo y medio, (por ser procesos muy lentos que influyen en el clima en escalas de tiempo de miles o millones de años) los cambios en la órbita terrestre alrededor del sol y los procesos geológicos que cambian la geografía de la tierra. Otros procesos como las variaciones de la radiación solar y la reducción de la actividad volcánica, tampoco han sido tan importantes como para explicar el calentamiento observado.

Figura 1-5
Otros indicadores del calentamiento global.

Hay otros indicadores climáticos como la retirada general de los glaciares, el aumento de la temperatura de los mares (0,7%), etc, que confirman esta tendencia hacia el calentamiento global y nos hablan de una coincidencia entre ésta y el aumento de las concentraciones de GEI. Hay ya muchas evidencias que el calentamiento global, al menos en los últimos treinta años ha sido causado por la actividad del hombre sobre el planeta. (Figura 1-5).

La reconstrucción paleoclimática (Figura 1-6) indica que un cambio tan intenso como el actual no tiene antecedentes en los últimos 1000 años .

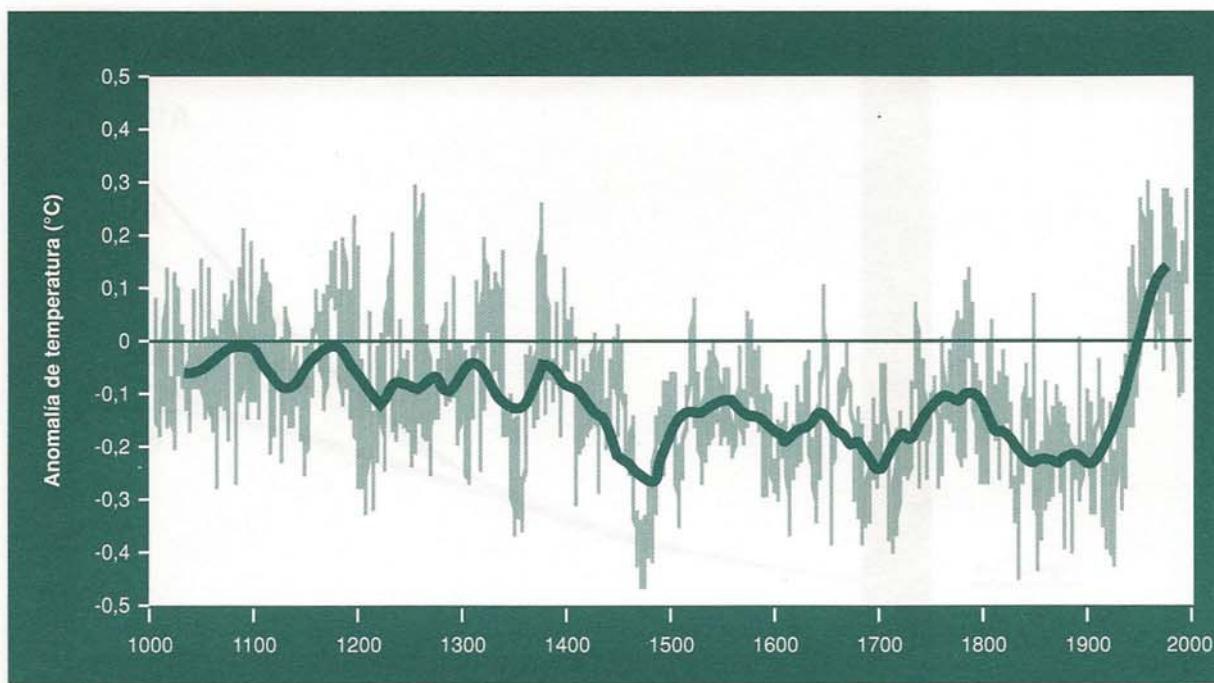


¿Qué se espera en el futuro?

La permanencia prolongada de los GEI en la atmósfera y por lo tanto el efecto acumulativo de las emisiones hace que aunque éstas cesaran por completo se necesitaría más de un siglo para que las concentraciones de GEI volvieran a los valores de la era preindustrial.

► ¿Cómo evolucionarán las concentraciones de los GEI en el futuro?

Para contestar a esta pregunta se deberá responder a su vez cómo van a evolucionar los factores que determinan esas emisiones: el crecimiento econó-



mico, el crecimiento demográfico, los cambios tecnológicos y la tendencia hacia una sociedad con mayor o menor equidad. Como esto es muy difícil de prever se construyen escenarios socioeconómicos. A su vez, estos distintos escenarios permiten construir distintos escenarios de emisiones (*Figura 1-7*).

A partir de los escenarios de emisiones

con los modelos que simulan el ciclo geoquímico de los contaminantes se obtienen escenarios de concentración de los GEI (*Figura 1-8*), y con éstos, utilizando modelos climáticos globales (MCG), mediante grandes computadoras se obtienen finalmente los escenarios climáticos.

Partiendo de la suposición de que las tendencias actuales que condicionan

Figura 1-6

*Apartamiento de la temperatura media global (°C) respecto de 1950 - 1980.
Según Mann et al. 1999*

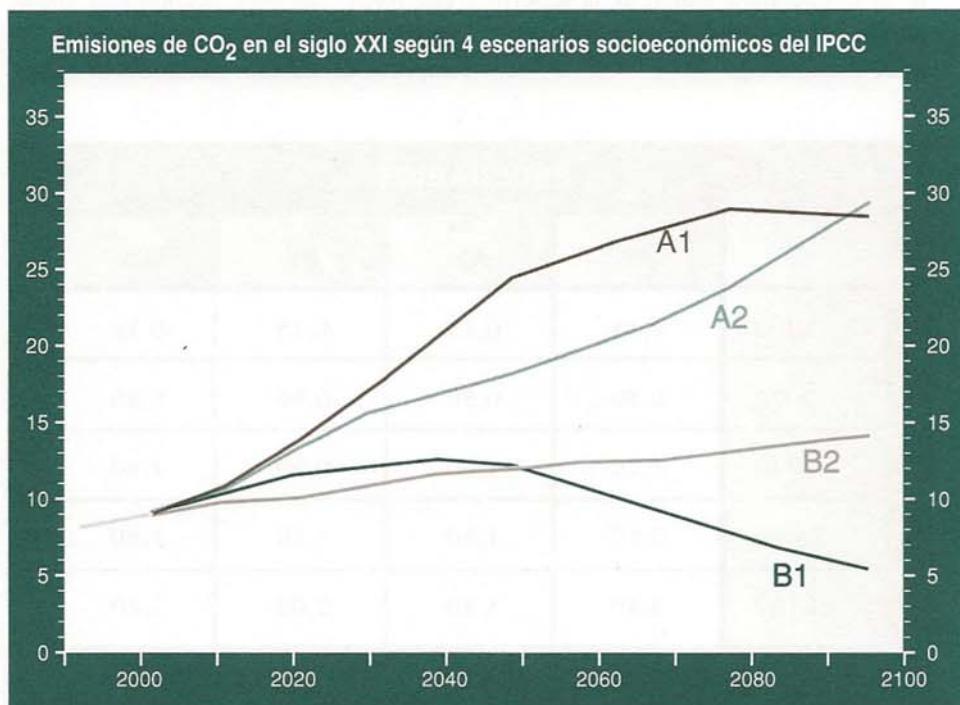


Figura 1-7

1. Indica tendencia global hacia la homogeneización
 2. Continúa la actual fragmentación entre regiones
- A. Se refiere al predominio de criterios económicos
B. Se refiere al predominio de consideraciones ambientales.

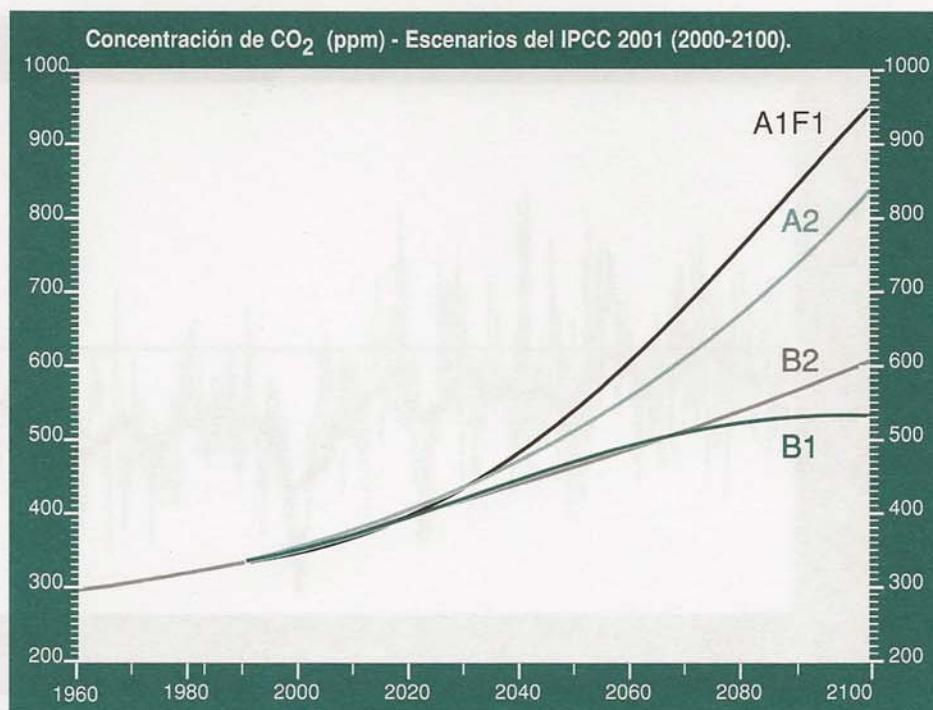


Figura 1-8

Igual que la Fig. 7
pero para
concentración de
CO₂ en la atmósfera.

las emisiones se mantuvieran en los próximos 100 años, el escenario resultante para fin de siglo sería de concentraciones de CO₂ tres veces mayores, de metano cinco veces superiores y de óxido de carbono el doble que las respectivas en la era preindustrial.

La proyección de los MCG con estas concentraciones es el de un aumento de la temperatura global de la superficie de 2 a 4 grados centígrados en el 2100 (*Tabla 1-1*).

No habría mucho cambio entre distintos escenarios hasta el año 2040. Es decir, que no importa ya lo que se haga con las emisiones, el clima hasta esa fecha está determinado. Sin embargo, las distintas opciones en materia de emisiones serán sumamente críticas en la determinación del clima para el resto del siglo (*Tabla 1-1*).

Los MCG también pronostican cómo estará distribuido geográficamente el impacto del cambio climático. El calen-

Tabla 1-1.

Apartamiento de la temperatura media global en superficie (°C). Medida proyectada según los escenarios descriptos en la Fig. 1-7.

AÑOS	ESCENARIOS			
	A1	A2	B1	B2
2000	0,15	0,15	0,15	0,15
2020	0,50	0,50	0,50	0,60
2040	1,20	1,00	0,90	1,10
2060	2,50	1,80	1,30	1,60
2100	4,50	3,80	2,00	2,70

tamiento no sería uniforme sino que habría cambios climáticos diferentes según las regiones.

El aumento de la temperatura se produciría en mayor grado en las altas latitudes y en el invierno, en especial en el Hemisferio Norte donde el calentamiento

sería de más de 8°C en algunas zonas.

Aunque los MCG son una metodología confiable por sus resultados a escala global, aún resultan con escasa capacidad para simular el clima a escala regional, lo que es una limitación de importancia.

Impactos del Cambio Climático

Predicciones para el siglo XXI

Los estudios realizados con MCG generan proyecciones para algunos aspectos globales, como por ejemplo:

- Aumento de la precipitación en general, pero con disminución en algunas regiones.
- Aumento del nivel medio del mar. Se prevé que en el año 2100 estará unos 60 cm más alto que en la actualidad (*Fig. 1-9*).
- Problemas de inundación en áreas costeras, deltas y costas de estuarios, con las consiguientes migraciones y

traslados de las poblaciones costeras.

- Cambio ecológico sin precedentes desde que el hombre habita el planeta (extinción de especies y ecosistemas).
- Se afectaría la agricultura, los recursos hídricos, y los sistemas costeros.
- El impacto sería mayor en los países en desarrollo que dependen más de los recursos naturales y tienen menor capacidad de adaptación.

El Cambio Climático ya es inevitable

Mitigación y adaptación

El incontrolado aumento de las emisiones de GEI está originando una catástrofe ecológica de la que deberían hacerse

cargo, en primer lugar los países que han tenido las mayores emisiones, es decir los conocidos como desarrollados.

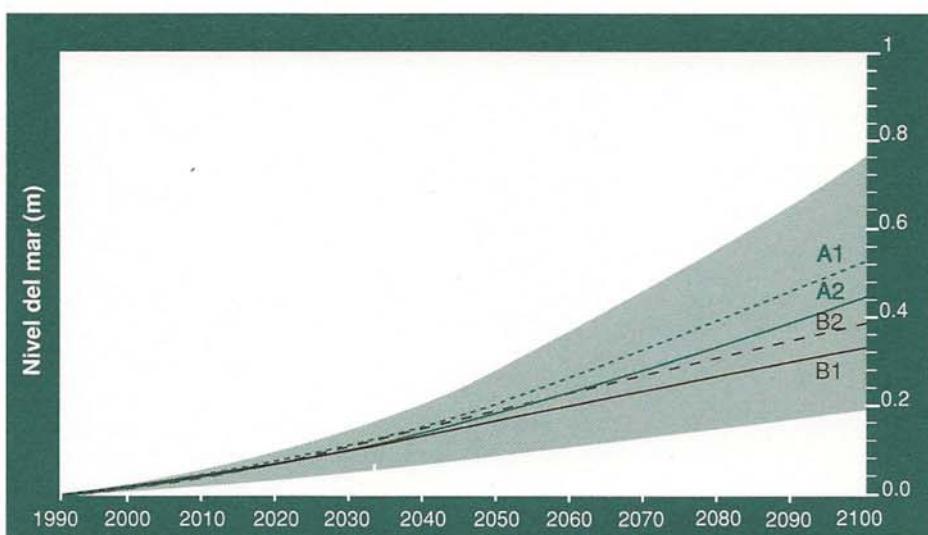
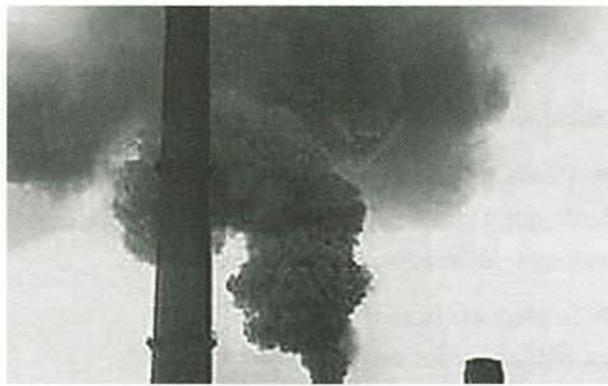


Figura 1-9

Promedio global del aumento del nivel del mar en el siglo XXI para los escenarios definidos en la Fig. 1-7.
(En sombreado el posible rango de aumento).

Las concentraciones de GEI permanecen largo tiempo en la atmósfera y el ajuste térmico del sistema climático a las mismas es también lento. Por lo tanto la temperatura de los próximos años aumentará en cualquiera de los posibles escenarios a pesar de lo que se haga para disminuir las emisiones: el Cambio Climático con sus gravísimas consecuencias ya es inevitable.



La comunidad internacional busca mitigar las emisiones de GEI (Convención del Clima y Protocolo de Kioto), planifi-

cando modestamente la reducción de las mismas durante los próximos años, pero esas reducciones deberán ser mucho mayores si se pretende reducir los graves impactos en el futuro.

Dado lo inevitable del cambio climático durante las próximas décadas, se está considerando no sólo la mitigación sino la adaptación a ese cambio. La adaptación óptima sería aquella planificada con antelación y no la que se va haciendo a medida que ocurren los cambios. Sin embargo, en muchos casos eso es aún imposible pues no se cuenta con escenarios creíbles a escala regional.

Lo que si es posible es comenzar ya con la adaptación en el caso de la predicción de impactos globales como por ejemplo el aumento del nivel del mar. Lo que se presenta en el capítulo 3 son resultados que permitirán la adaptación anticipada en la costa del Río de la Plata (*Figura 4-9*).

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ARGENTINA

Vicente Barros



¿Qué ha estado pasando con el clima?

► La temperatura

Los registros de las estaciones no urbanas de la Argentina subtropical no muestran una fuerte tendencia general hacia temperaturas medias más elevadas.

En casi toda la región subtropical de Argentina (al norte de 38°S) en el período 1940/1990, las temperaturas mínimas aumentaron alrededor de un grado, mientras las máximas se redujeron en la misma cantidad. El aumento en la mínima es lo típico de un proceso de calentamiento por aumento del efecto invernadero. Las máximas se han reducido probablemente por el incremento de las precipitaciones.

En toda la Patagonia, durante los

últimos 50 años la temperatura media ha ido aumentando. Esta tendencia es más pronunciada hacia el sur. En el sur de Santa Cruz y en Tierra del Fuego este ascenso ha sido de más de un grado.

► La precipitación

Las precipitaciones medias

El cono sur de América del Sur es la región subcontinental del planeta con la mayor tendencia positiva en la precipitación anual durante el siglo XX, a pesar de que al oeste de los Andes esta tendencia fue marcadamente negativa.

Este aumento de las precipitaciones no fue simultáneo en toda la región. En el Sur de Brasil y Norte de Argenti-

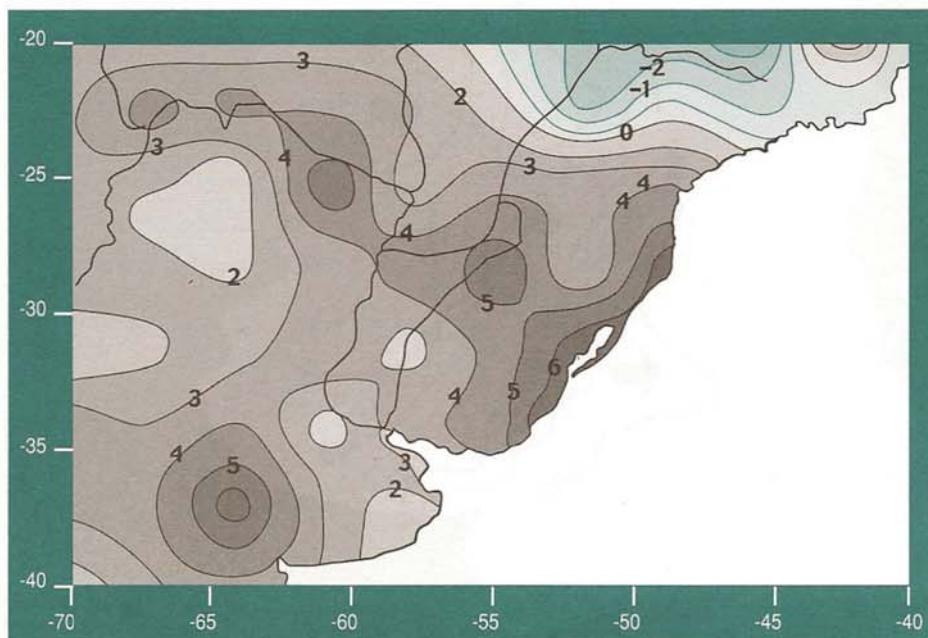


Figura 2-1

Tendencias anuales de la precipitación entre 1960-1999 en mm /año.

na, las tendencias positivas se iniciaron a partir de mediados de la década de 1970.

En el sur de la región subtropical argentina, esta tendencia hacia mayores precipitaciones comenzó en la década de 1960, simultáneamente con un notable calentamiento de la costa Antártica y un corrimiento hacia el sur del Anticlón del Atlántico Sur.

Al este de los Andes, entre los 20°S y los 40°S, las precipitaciones medias anuales se incrementaron en más de un 10 % y en algunas zonas en más del 40 % en los últimos 40 años. Es el caso del oeste de la Provincia de Buenos Aires y el norte de Corrientes y sur de Misiones, donde se registraron los mayores aumentos: más de 200 mm en los valores medios anuales (*Figura 2-1*).

En la primera de esas regiones donde el incremento fue de casi el 50 % se han registrado **frecuentes inundaciones** y algunos campos muy bajos se han transformado en lagunas permanentes. En el caso de Corrientes, el estero y lagunas del Iberá han expandido su superficie notoriamente, excepto este año (2004) en el que por una sequía prolongada, han vuelto a las condiciones de la década del 60.

Al norte de los 38°S, las isoyetas corren de norte a sur por lo que el aumento de las precipitaciones media anuales sobre toda la región, implicó el desplazamiento de las isoyetas hacia el oeste. La de 600 mm, que aproximadamente delimita la frontera agrícola en el oeste de la pampa húmeda argentina, se desplazó más de 200 Km en el sur y la de 800 mm en alrededor más de 100 km en el norte,

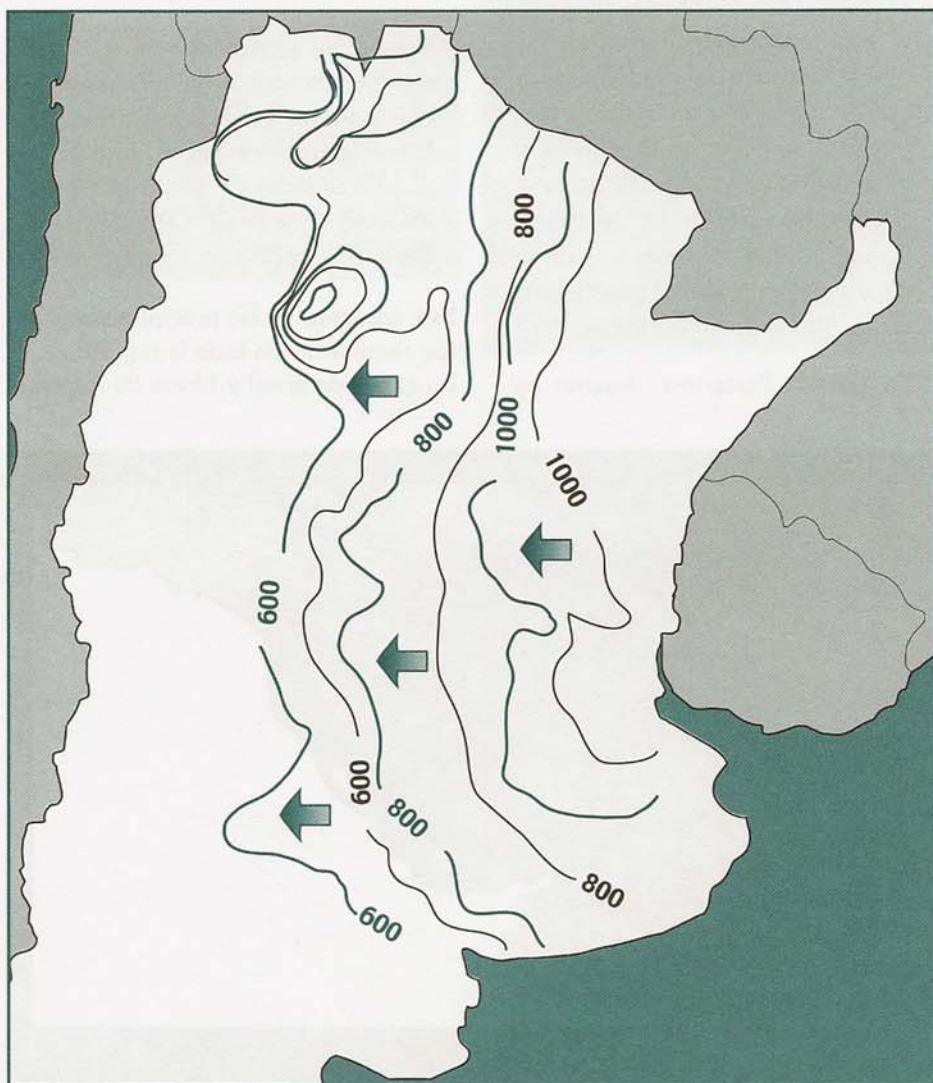


Figura 2-2

Corrimiento de las isoyetas medias anuales (mm) hacia el oeste.

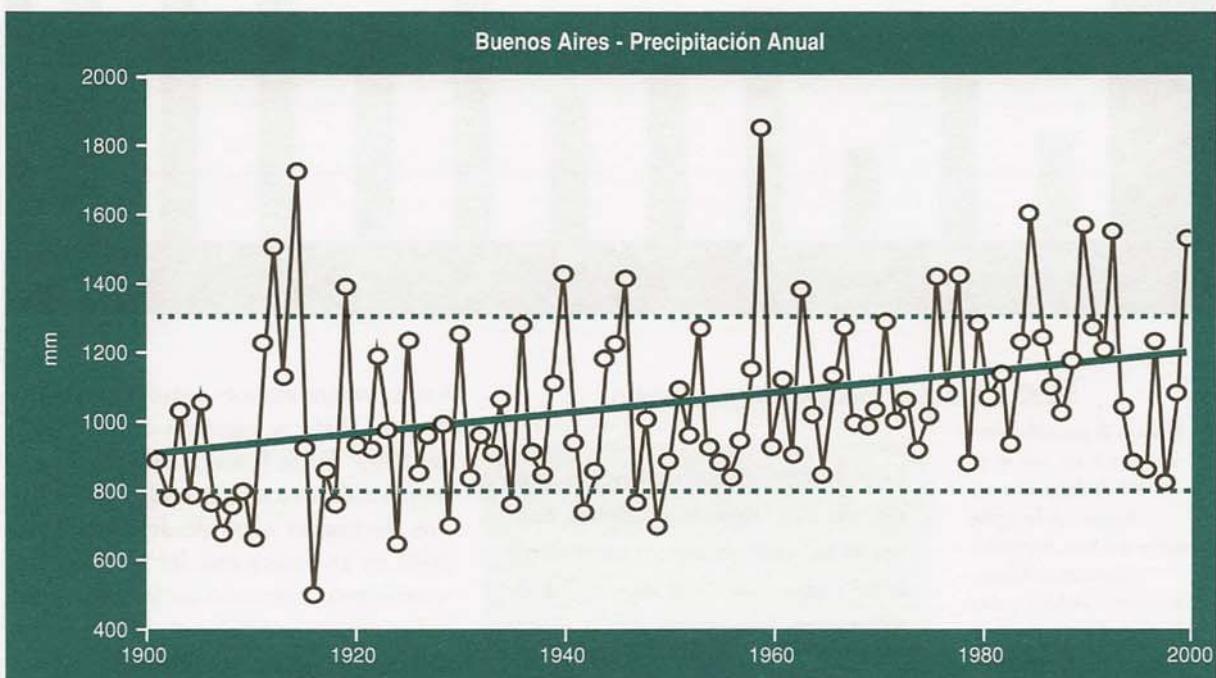
— 1950-1969
— 1980-1999

en la región chaqueña, como puede verse en la *Figura 2-2*.

Debido a ello, así como por la incorporación de nuevas tecnologías, la frontera agrícola se expandió hacia el oeste, dando lugar a una importante agriculturización en una franja que va desde La Pampa hasta Santiago del Estero y que hasta la década de los años 60 era

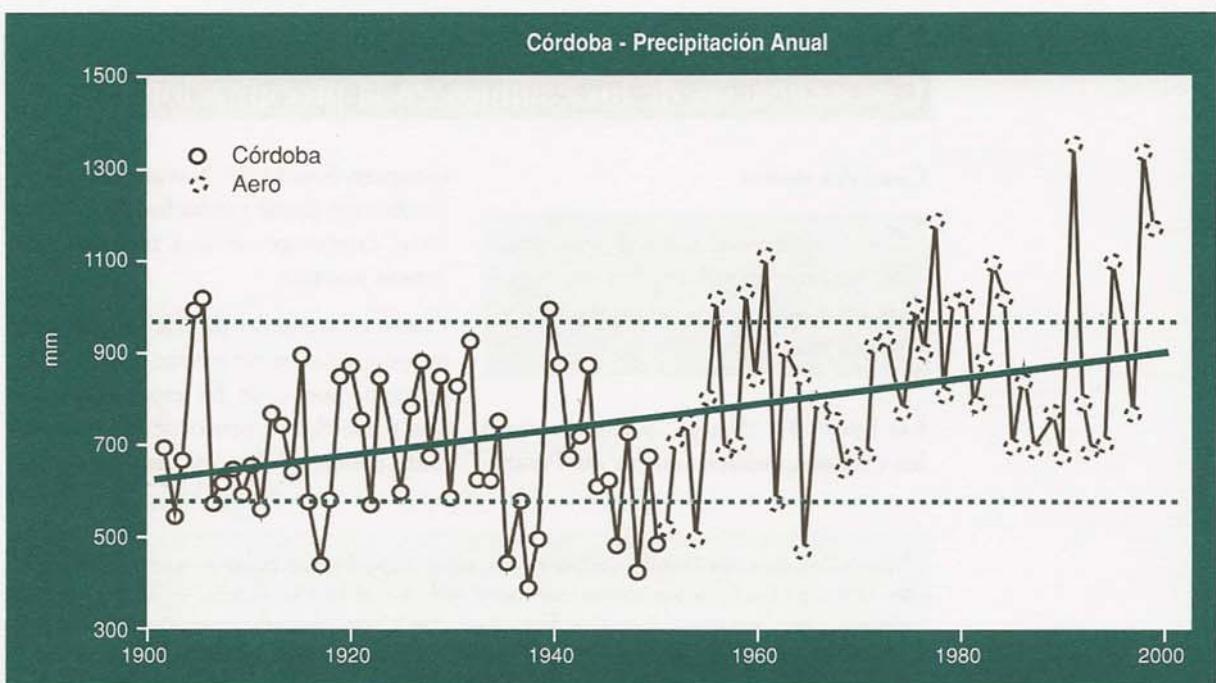
considerada semiárida. El lado negativo de este cambio fue la depreciación de otras zonas agrícolas por las continuas o repetidas inundaciones y la pérdida de espacios naturales.

En cuadro aparte dos ejemplos de precipitaciones medias anuales desde comienzo de siglo en Buenos Aires y Córdoba (*Figura 2-3*).



Figuras 2-3 a y b

Ejemplos de precipitaciones medias anuales desde comienzo del siglo XX: a) en Buenos Aires y b) Córdoba.



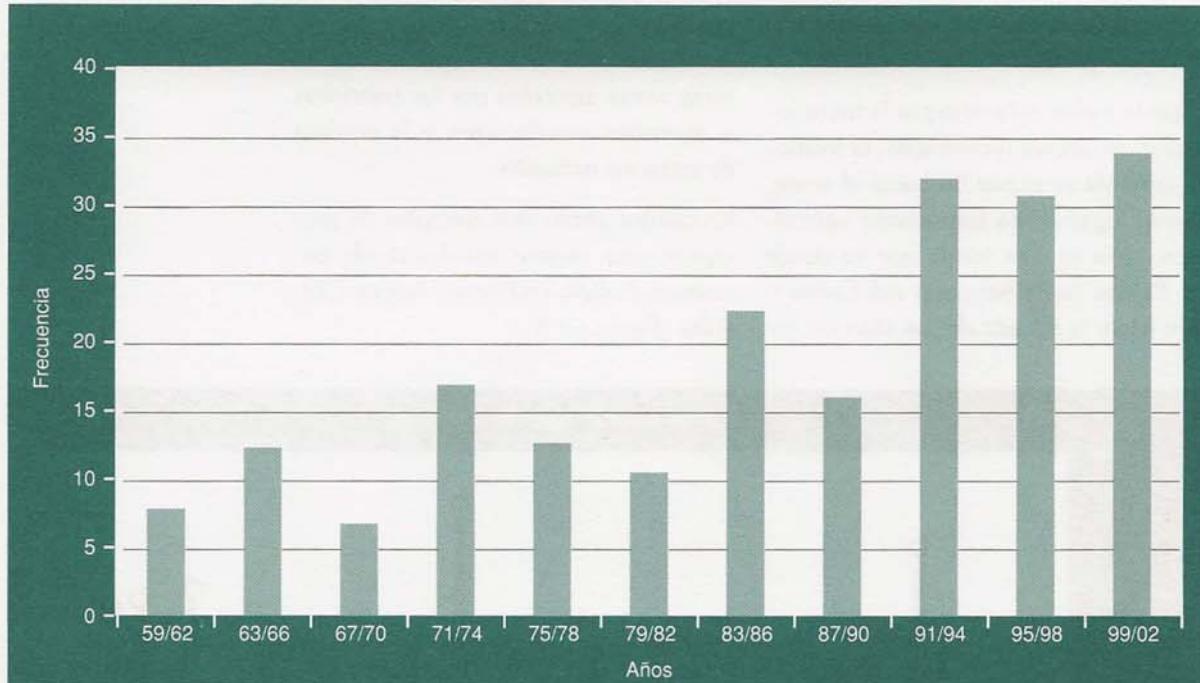


Figura 2-4

Número de precipitaciones mayores a 100 mm en no más de dos días en 16 estaciones de la región centro y este de Argentina: provincias de Chaco, Corrientes, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Santiago del Estero.

Las precipitaciones extremas

Este tipo de precipitaciones es producido por sistemas de nubes convectivas,¹ cuyo diámetro varía desde unos pocos hasta varios cientos de kilómetros.

La región este de la Argentina, el Litoral y la Pampa Húmeda, registran desde la década de 1970, una tendencia

hacia precipitaciones extremas más frecuentes. Esta se agudizó en la década de 1990. En la figura 2-4 se muestra el número de casos registrados en períodos de cuatro años desde 1959 hasta 2002 en 16 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional en las provincias del centro y este del país. Si se comparan los tres primeros períodos y los tres últimos, se observa que el número de casos de precipitaciones extremas se ha triplicado.

Consecuencias de los cambios en la precipitación

Caudales medios

Como consecuencia del aumento de las precipitaciones, los caudales de los ríos también aumentaron en forma manifiesta.

Las figuras 2-5, 2-6, 2-7 y 2-8 muestran los caudales medios anuales del Paraná,

Uruguay, Salado del Norte y Paraguay. Se observa desde mediados de los años 70 el comienzo de una marcada tendencia positiva.

Como el aumento de los caudales fue proporcionalmente mayor que el de las precipitaciones, se ha especulado con que parte del aumento de los caudales pudo haberse debido al cambio del uso

¹ Son nubes llamadas cúmulo-nimbus cuyo espesor vertical puede llegar en nuestro país hasta los 15000 m de altura y son las que usualmente están asociadas a actividad eléctrica, fuertes lluvias y que en el lenguaje coloquial se denominan chaparrones. Además, en algunos casos tienen otros efectos destructivos porque producen granizo o fuertes vientos o ambos a la vez.

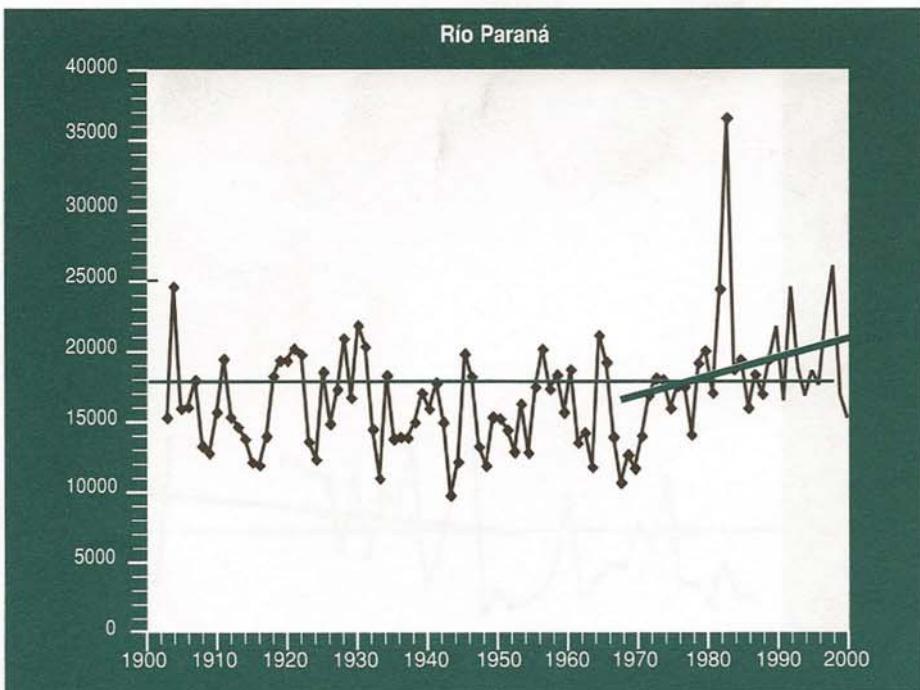


Figura 2-5
Caudal medio anual del río Paraná (m^3/s).

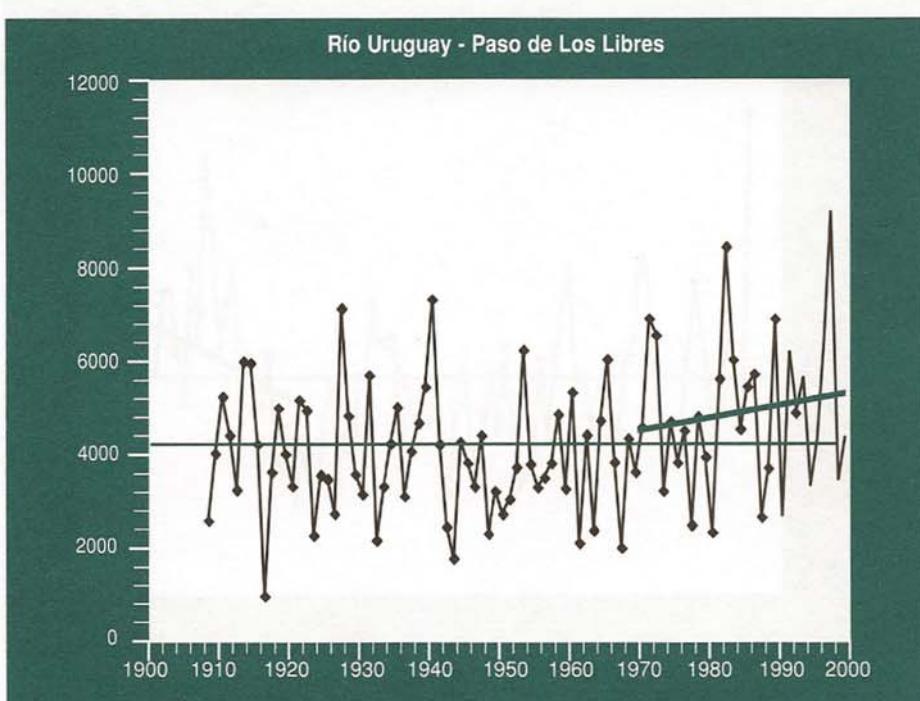


Figura 2-6
Caudal medio anual del río Uruguay (m^3/s).

del suelo. En efecto, en gran parte de Brasil y Paraguay y en menor medida en Argentina se deforestó para liberar campos para la agricultura lo que podría haber generado mayores escurrimientos hacia los ríos. En el mismo sentido podría haber actuado el pasaje del cultivo

de café a soja que se viene produciendo en Brasil en los últimos años. Por lo tanto si bien la mayor parte del incremento de los caudales de los ríos se debe al aumento de las precipitaciones, no debe descartarse la incidencia de los cambios en el uso del suelo.

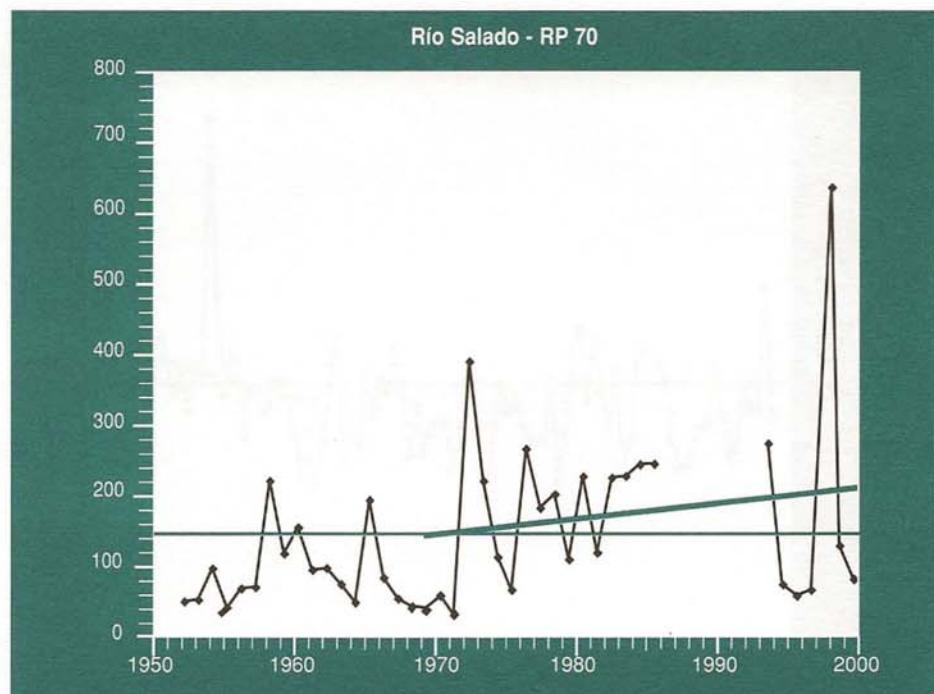


Figura 2-7
Caudal medio anual del
río Salado del Norte
(m^3/s).

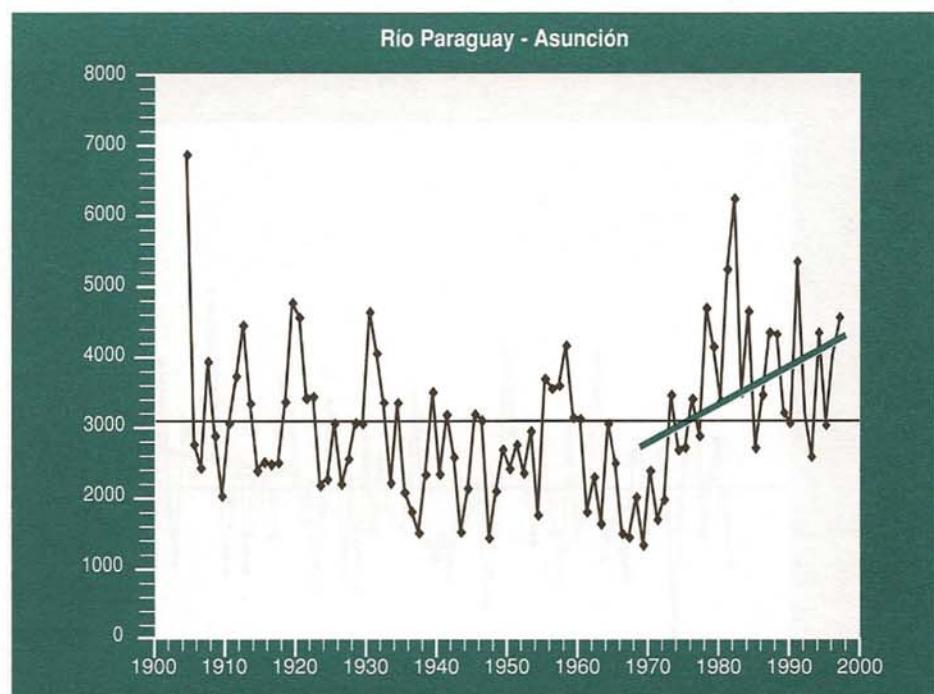


Figura 2-8
Caudal medio anual del
río Paraguay (m^3/s).

Inundaciones

Como consecuencia de las mayores precipitaciones y de la amplificación de este efecto en los caudales de los ríos, las inundaciones y los daños que ocasionan se han tornado más frecuentes y gravosos en casi todo el territorio argentino.

En las zonas costeras de los grandes ríos, principalmente del Paraná y Paraguay, se han producido inundaciones generalmente originadas por precipitaciones extraordinarias en territorio brasileño y/o paraguayo.

Estas inundaciones se han hecho más

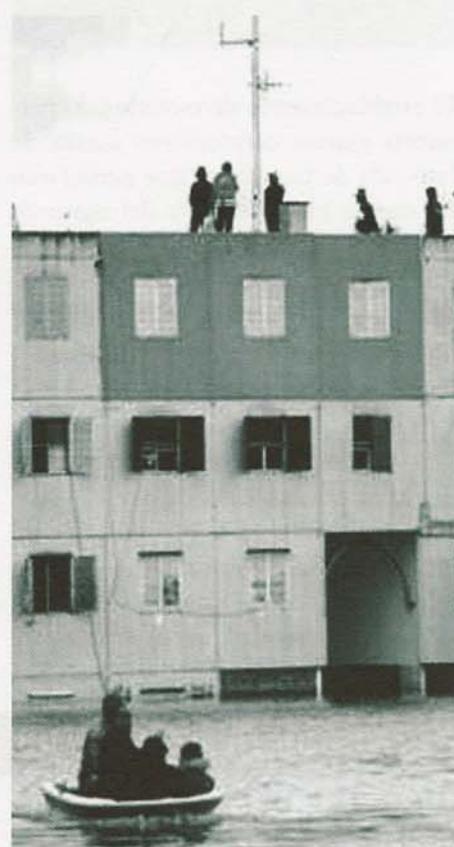
frecuentes desde mediados de la década del 70. Por ejemplo, de los 16 mayores caudales mensuales del Río Paraná en Corrientes durante el siglo XX, 12 se registraron en los últimos 30 años al igual que 4 de los 5 mayores caudales mensuales, verbigracia en 1982, 1983, 1992 y 1998. Situaciones similares se registraron en los ríos Paraguay y Uruguay. Esto muestra claramente el notable impacto que el Cambio Climático regional ha causado en la intensidad y frecuencia de las inundaciones.

Otro tipo de inundaciones que se han estado registrando cada vez con mayor frecuencia son las que tienen lugar en áreas de llanura, de muy baja pendiente o deprimidas provocadas por sistemas de tormentas. La duración de estas inundaciones difiere según la pendiente del terreno, ya que en las zonas deprimidas el agua puede permanecer durante semanas o meses. En el sur de Santa Fe, se han producido este tipo de situaciones con consecuencias como el crecimiento de la laguna de la Picasa, que ha cortado la ruta 7 y el ferrocarril desde hace años.

Cuando los sistemas de tormentas muy intensos se producen en áreas con mayor declive, como en el caso del norte de la provincia de Buenos Aires, el escurrimiento es más rápido y la inundación puede durar sólo algunas horas, pero su misma rapidez puede ocasionar severos daños. Las inundaciones de este tipo se han hecho más intensas y frecuentes en las últimas dos décadas. Algunos de los casos ocurridos en los últimos años, que

originaron pérdidas de vidas y bienes, fueron los de Pergamino y de Cañada de Gómez.

Un caso sobre un terreno con menos declive, pero aún más impactante fue el que ocasionó la tragedia de Santa Fe en abril de 2003. En este caso se registraron precipitaciones superiores a 300 mm en menos de dos días en localidades tan distantes como el norte de Santa Fe y el este de Entre Ríos.



En la ciudad de Buenos Aires y en general en otras áreas urbanas, el escurrimiento se ve acelerado por la impermeabilización del suelo, que en algunos casos ocasiona rápidas pero severas inundaciones con alto costo económico y social. En la Ciudad de Buenos Aires se registró una inundación causada por un sistema de tormenta muy intensa en mayo de 1985, que afectó también el norte del Gran Buenos Aires y otra tormenta muy localizada produjo la severa inundación de enero del 2001.

Atribución de los cambios en la precipitación en la Argentina al Cambio Climático

Aunque la complejidad de los procesos atmosféricos hace muy difícil establecer la vinculación entre el proceso global de Cambio Climático que se está produciendo como consecuencia de las emisiones de GEI y los cambios climáticos regionales observados, hay una alta probabilidad de que este vínculo exista.

El establecimiento de este vínculo permitiría extraer conclusiones acerca de la escala de tiempo en que perdurarán las nuevas condiciones y del signo de las eventuales tendencias futuras porque ya sabemos que el Cambio Climático global continuará en la misma dirección durante las próximas décadas, a menos que la Tierra entrara en un violento ciclo volcánico.

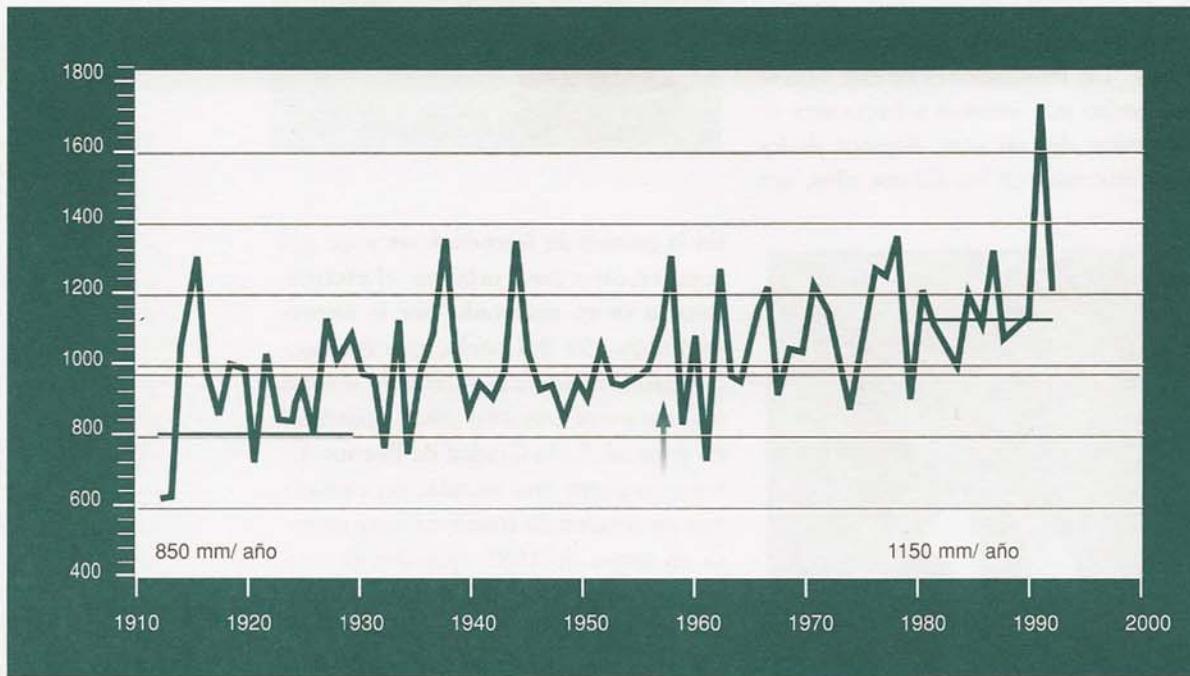
Una circunstancia altamente sugestiva que abona la hipótesis de que los cambios observados en la precipitación en el sudeste de América del Sur están relacionados con el Cambio Climático, es la simultaneidad en el tiempo de

ambos procesos ya que el tren de calentamiento del siglo XX se ha acelerado al mismo tiempo que el cambio regional de las precipitaciones, es decir, a partir de aproximadamente 1960. Esto podría ser una coincidencia fortuita pero la magnitud y escala geográfica del cambio, lo hacen difícil. Cabe mencionar que los anteriores ciclos húmedos observados se registraron alrededor de 1920 y de 1940 y apenas duraron unos 4 ó 5 años, afectaron sólo la Pampa Húmeda y sus precipitaciones en promedio estuvieron por debajo de las de las últimas décadas del siglo. La Figura 2-9 ilustra esto último para el promedio de 8 estaciones ubicadas en el corazón productivo de la Pampa Húmeda.

Además, como muestra la Figura 2-1, el cambio actual está generalizado sobre una enorme superficie que incluso excede los límites del país y ha durado ya tres décadas y en algunas zonas cuatro, por lo que resulta más propio hablar de un Cambio Climático y no de un ciclo húmedo.

Figura 2-9

Precipitación media anual en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe y Entre Ríos.



EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA COSTA ARGENTINA DEL RÍO DE LA PLATA

V. Barros, A. Menéndez, C. Natenzon, J. Codignotto, R. Kokot y S. Bischoff



En este capítulo se presenta una selección de datos aportados por la investigación realizada en el marco de los proyectos dirigidos por el Dr. Vicente Barros, AIACC LA 26, de financiación internacional y Proyecto Estratégico sobre Inundaciones de la UBA.

El Dr. Ángel Menéndez, el Dr. Jorge Codignotto, la Dra. Claudia Natenzon, la Dra. Susana Bischoff y el Dr. Walter Vargas son los principales investigadores de ambos proyectos.

Aportes fundamentales fueron realizados por el Dr. Roberto Kokot, la Dra. Inés Camilloni, el Ing. Pablo Bronstein y el Ing. Enrique D'Onofrio.

Geografía

El Río de la Plata está formado por el aporte de dos grandes ríos, el Paraná y el Uruguay. Constituye un estuario de características peculiares, tales como su ancho, que lo hacen único en el planeta.

Nace con 50 Km y se va ensanchando gradualmente en todo el tramo conocido como Río de la Plata interior hasta alcanzar 90 Km en la sección Montevideo - Punta Piedras (*Figura 3-1*).

Aguas abajo el Río se va haciendo más salino, y se habla de un **frente de salinidad** como el límite entre dos tipos de agua. En la línea imaginaria que une



Figura 3-1

Fotografía satelital del Río de la Plata. La distinta coloración indica el frente de turbidez y aproximadamente el de salinidad entre el agua dulce y la del océano.

Punta del Este con Punta Rasa, límite del Río de la Plata exterior, con un ancho de 200 km, el agua del estuario llega a valores de salinidad cercanos a los del océano.

Otras de las características peculiares del Río de la Plata son su pendiente muy pequeña, 0,01m/km, y su forma de embudo, con una boca muy ancha, lo que determina una dinámica de mareas y corrientes esencialmente marinas. Estas ondas de marea son de origen astronómico o generadas por la acción de fuertes vientos y crecen a medida que avanzan hacia el interior del estuario debido a que éste se hace cada vez más estrecho y menos profundo.

Las mayores crecidas se originan cuando coinciden las fuertes tormentas generadas por los vientos del sudeste con picos en las mareas astronómicas, produciéndose las llamadas "sudestadas" que dan lugar a inundaciones en las zonas costeras bajas.

► Características del área costera del Río de la Plata

El área costera entre Punta Piedras y el Delta del Paraná es baja excepto en una zona al norte del Río Matanza-Riachuelo. Está constituida por cordones litorales arenosos y planicies de mareas que en algunas zonas (entre Tigre y el Riachuelo) se encuentran entre la orilla del Río y altas barrancas que son restos de los antiguos acantilados marinos originados 6000 a 8000 años atrás. En la ciudad de Buenos Aires son paralelos a las avenidas Leandro Alem y Paseo Colón y se pueden apreciar con claridad en el Parque Lezama.

La costa en la Bahía Samborombón, presenta un relieve bajo y está constituida por sedimentos arcillosos con áreas de cangrejales. Tierra adentro, desde la línea de ribera actual, se hallan cordones litorales constituidos por arena con abundantes moluscos marinos indicadores de una línea de costa antigua, por donde actualmente pasa la ruta 11. Respecto a la altimetría, pueden diferenciarse dos zonas, la norte más al-

ta y el área sur con escaso relieve respecto al nivel medio del mar.

El sistema del río Salado

El río Salado desemboca en el Río de la Plata en la Bahía Samborombón. El sistema del río Salado incluye al río Samborombón y algunos arroyos.

El tramo inferior tiene una pendiente muy pequeña de 0,013 m / Km. y se extiende desde la laguna La Tigra hasta la Bahía Samborombón con un recorrido de 98 Km.

► Delta del río Paraná

En su desembocadura en el Río de la Plata el río Paraná origina un extenso delta que tiene la característica de ser el único en el mundo que está íntegramente en un ambiente de agua dulce.

Se ha verificado un avance del frente del Delta como se muestra más adelante. Asociado a ello se han ido estableciendo población y actividades que son muy vulnerables a las sudestadas y a los cambios del nivel medio de las aguas derivadas del Cambio Climático.

Por el efecto de encajonamiento ya descrito, las ondas de marea también alcanzan el máximo nivel de todo el estuario en esa zona y lo mismo ocurre con las crecidas ocasionadas por aportes extraordinariamente altos de los ríos Paraná y Uruguay. Estos efectos se verán potenciados con el ascenso medio del nivel del mar, por lo que este sector del Delta es muy vulnerable al Cambio Climático.

► Zonas inundables

Las sudestadas originan crecidas que tienen mayor intensidad en la costa argentina que en la uruguaya. Además, por ser más baja, la costa argentina sufre una mayor penetración de las aguas tierra adentro durante las sudestadas lo que da

PERÍODO DE RETORNO (años)	Niveles extremos encima del cero del Riachuelo (m)
5	3,30
11,2	3,60
27,5	3,90
79	4,20
366	4,50

Tabla 3-1

Período de retorno de las crecidas para el puerto de Buenos Aires.

(D'Onofrio, De Fiore y Romero 1999).

lugar a inundaciones. Esta misma característica se agrava en la costa de la Bahía Samborombón, sobre todo en la zona sur donde se encuentran los llamados canales de marea, zona anegadiza que se interna varios kilómetros tierra adentro. En el sur del Gran Buenos Aires y en las cuencas de los ríos Matanza- Riachuelo

y Reconquista también se encuentran zonas bajas e inundables.

La Tabla 3-1 muestra la recurrencia para crecidas por encima del nivel convenido de alerta para el Puerto de Buenos Aires. Las sudestadas tienen una duración típica que varía de unas pocas horas a 2 ó 3 días.

Los factores que determinan el nivel medio del río

La sensibilidad del nivel del Río de la Plata al aumento del nivel del mar, al cambio en la orientación de los vientos predominantes y al aporte de los ríos tributarios ha podido ser analizada mediante un modelo hidrodinámico previamente calibrado (ver *Modelado del Río de La Plata* en este capítulo).

► Los vientos

Las aguas del estuario sufren la influencia del arrastre que producen los vientos al forzar su superficie. Los cambios de dirección e intensidad del viento durante el período 1951-2000 son responsables por alrededor de 5 cm en el aumento del nivel registrado en Buenos Aires. Lo muestran las simulaciones realizadas con el modelo hidrodinámico que revelan también que la diferencia de nivel de 15 cm entre el verano y el invierno se debe al cambio estacional del viento.

► El nivel del mar

Dada la escasa pendiente del Río de la Plata y su relación ancho/largo excepcionalmente alta, es de esperar que el aumento medio del nivel del mar se propague al interior del estuario sin gran modificación. Ello se comprobó con el modelo hidrodinámico. Sólo a la altura de La Plata comienza a apreciarse alguna disminución respecto del aumento de nivel en el exterior del río y apenas alcanza al 10 % en Martín García.

► Los aportes de los ríos

El Río de la Plata alimenta su caudal con los ríos Paraná y Uruguay, que aportan en forma desigual, 20.000 m³/s y 5.000 m³/s respectivamente, dando lu-

gar a un caudal medio estimado para el estuario de 25.000 m³/s.

En ocasiones no muy frecuentes la suma de caudales ha llegado a los 50.000 m³/s. Los máximos caudales alcanzados por ambos ríos rara vez se dieron simultáneamente. En 1983, durante un período de crecida del Paraná, coincidió con una crecida del Uruguay que elevó la suma de ambos caudales a 80.000 m³/s.

El efecto posible de las crecidas de sus tributarios sobre el nivel del Río de la

Plata fue estimado con el modelo hidrodinámico, dando por resultado que la variación es poco significativa tanto en la parte exterior del estuario como en la interior, salvo en la zona de la isla de Martín García y en el frente del Delta.

Sólo en circunstancias muy excepcionales con caudales superiores a los 75.000 m³/s el nivel se vería algo afectado en la costa de la Ciudad de Buenos Aires. No hay indicios de este tipo de cambios para las próximas décadas.

Tendencias observadas

► Nivel medio del Río de la Plata

Los datos del mareógrafo de Buenos Aires muestran una tendencia al ascenso del nivel medio del Río de 1,7 mm/año (Fig. 3.2). Esta sería similar a la registrada fuera del estuario, hacia el sur y estaría comprendida en los niveles de las

tendencias generales que se observan en las costas de todos los continentes.

A partir de 1970 y coincidiendo con la predominancia de componentes del Este en los vientos, se pudo observar en el Puerto de Buenos Aires una aceleración de ese aumento del nivel medio.

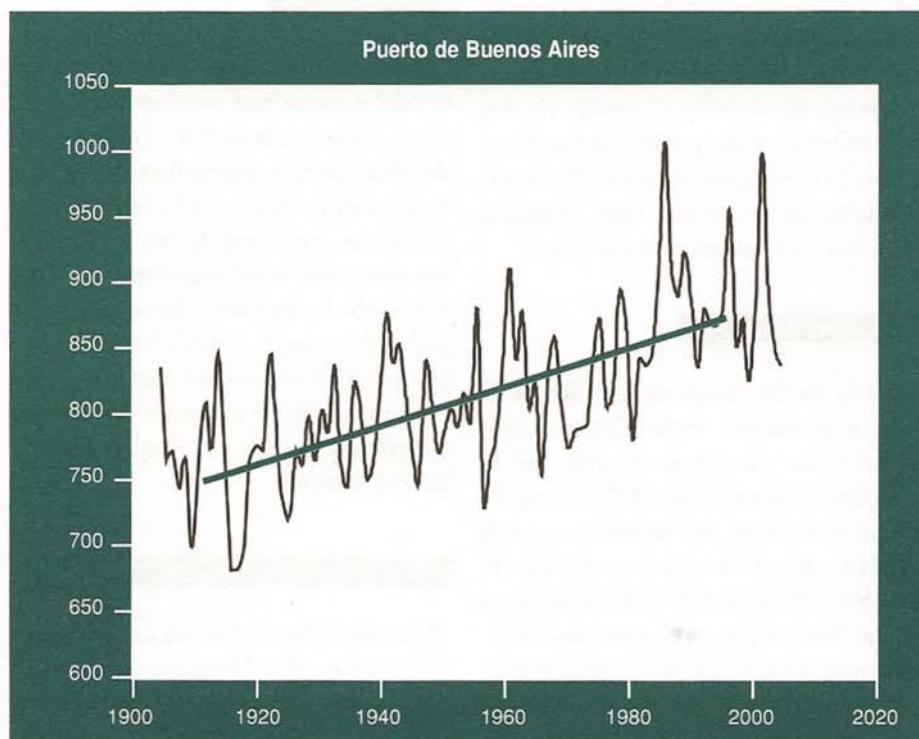


Figura 3-2

Nivel medio anual del agua en el puerto de Buenos Aires.

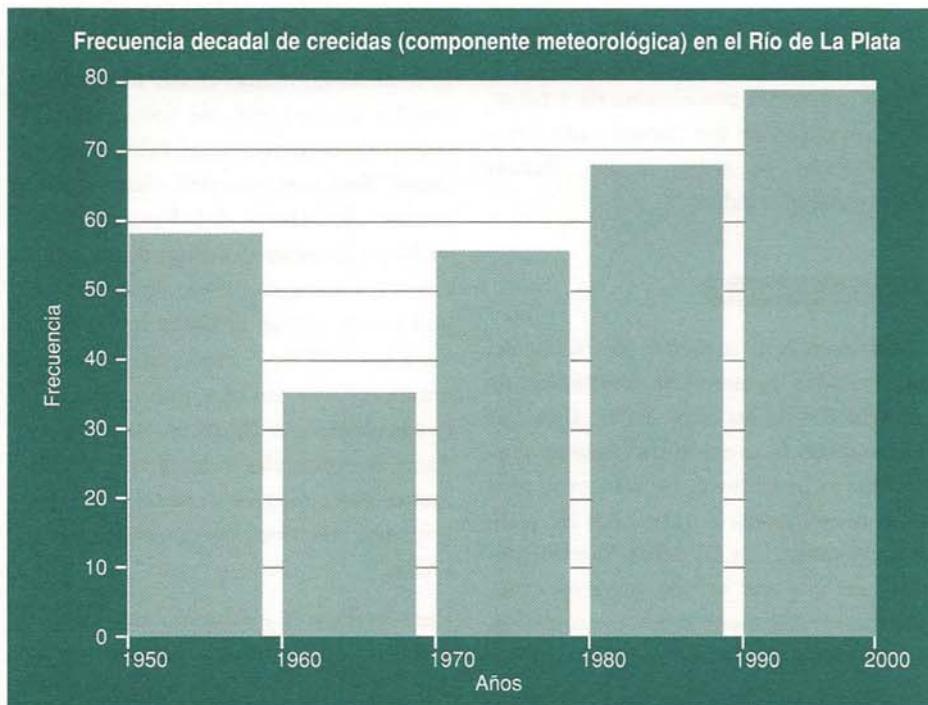


Figura 3-3

Frecuencia decadal de crecidas (componente meteorológica) en el Río de la Plata. Número de casos con valores superiores a 1,60 m en el Puerto de Buenos Aires.

El hecho de que en el puerto de Montevideo el aumento ha sido de sólo 13 cm, hace suponer que una parte de ese incremento se debió al efecto de la rotación de los vientos.

► Los cambios en los campos de viento en superficie

Desde la década del 70 se ha producido un desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico, lo que fue acompañado con la rotación de los

vientos del nordeste al este-nordeste sobre el Río de la Plata.

► Las sudestadas

Como ya se señaló, las riberas del Río de la Plata se ven afectadas por inundaciones que tienen su origen en las sudestadas. El efecto de estas tormentas sobre las costas se ve agravado por el aumento paulatino del nivel medio del Río.

La figura 3.3 muestra que el mayor nivel



Figura 3-4

Los árboles caídos en Punta Rasa son indicadores de una activa erosión.

medio del Río desde 1970, coincide con el incremento del número de ondas de tormenta por encima de 1,60 m. Este nivel puede ser considerado crítico cuando se suma a las mareas astronómicas medias.

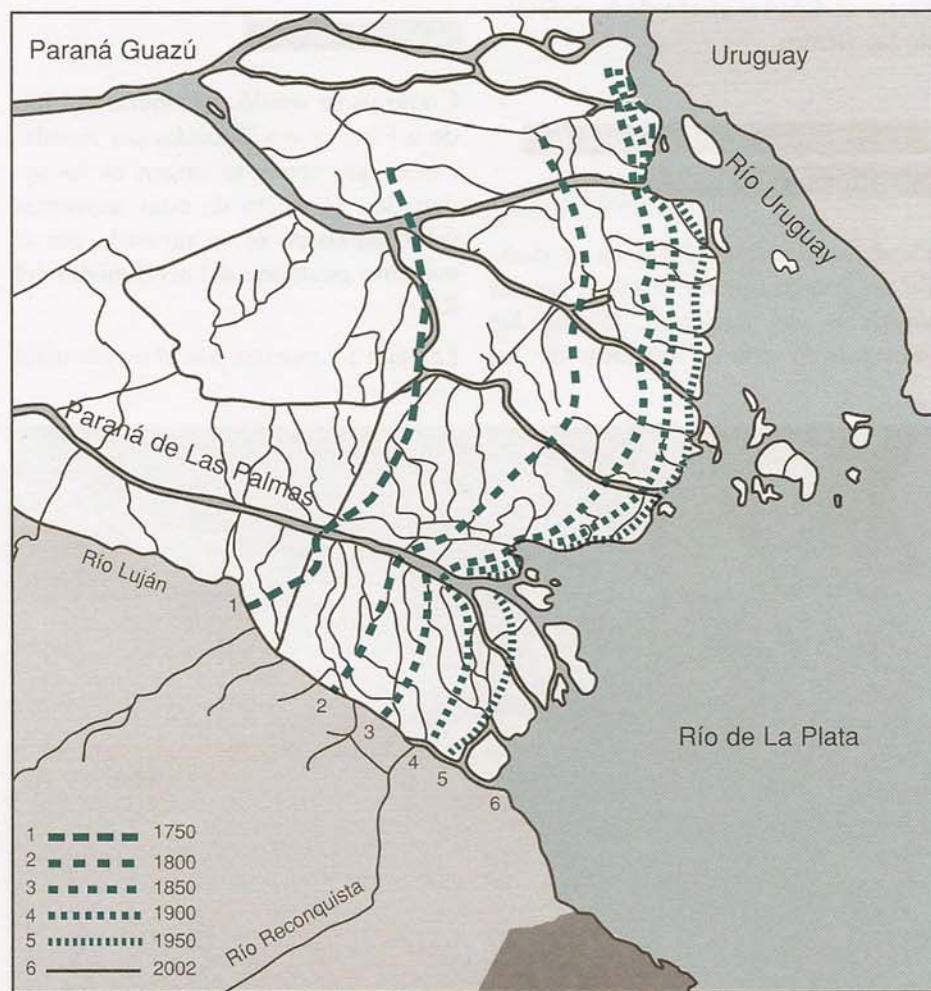
► Erosión costera

La tendencia al aumento del nivel del Río no sólo aumentó la frecuencia de inundación de las áreas bajas, sino que incrementó la erosión de algunas costas que se manifiesta incluso en costas altas provocando el retroceso de la línea de costa. En la Bahía Samborombón, en la parte sur de su costa compuesta por sedimentos no consolidados, se observan claros indicios de erosión incipiente (*Figura 3-4*). En cambio, la costa de rocas consolidadas de la zona de Punta Piedras presenta mayor resistencia a la erosión costera.

► Avance del Delta del río Paraná

El análisis de mapas desde el siglo dieciocho al presente, de fotografías aéreas y de imágenes satelitales de los últimos decenios muestra claramente el avance del Delta del Paraná. Desde 1750 en el sector comprendido entre la costa bonaerense, el río Paraná Guazú y el frente actual, el Delta ha aumentado unos 800 km². Hasta un siglo atrás crecía a 100m por año, mientras que los datos modernos (últimos 40 años), señalan que el Delta avanza aproximadamente entre 60 a 70 m por año, es decir hay una disminución en el frente del Delta.

Para evaluar la evolución del Delta se tomó como referencia las desembocaduras de los ríos Luján y Reconquista. La desembocadura del Río Reconquista pasa de estar prácticamente libre de obstáculos en 1731, a estar parcialmen-



te obstruida por islotes entre 1802 y 1829 para finalmente obstruirse totalmente a partir de 1890, es decir, no tiene una comunicación directa con el Río Paraná de las Palmas. Con la desembocadura del Río Luján sucedió algo similar ya que estaba libre de obstáculos en los mapas de los años 1731, 1756 y

1783 pero no en el mapa fechado entre los años de 1762 y 1784. Se observa claramente como la antigua desembocadura hacia el norte del Río Luján en el Paraná de las Palmas queda, a medida que se analizan los mapas más recientes, cada vez más lejos del frente del Delta.

El Cambio Climático y los factores que afectan el nivel del Río

A continuación se discute brevemente lo que se espera que sucederá con los factores que condicionan el nivel medio del Río de la Plata como consecuencia del Cambio Climático. Los cambios que se esperan en esos factores conducirán a un aumento del nivel del Río.

El nivel del mar

En los últimos dos siglos se ha registrado una tendencia global hacia el aumento del nivel medio del mar. La estimación realizada con mediciones en la mayoría de las costas del continente y de las islas, es para el siglo XX de entre 15 y 20 cm.

Con la utilización de radares satelitales a partir de la década de 1990 (complejo satelital Topex-Poseidón), se ha logrado determinar que la tendencia global es mucho mayor que la del siglo pasado, ya que estaría en los 4mm anuales.

La *Figura 1-9* del capítulo 1 muestra las proyecciones del nivel medio del mar para el siglo XXI según los distintos escenarios socio·económicos del IPCC 2001.

Aportes de los ríos

El nivel del Río de la Plata solamente reacciona ante cambios de gran magnitud en los caudales de los ríos que lo alimentan, esto es por lo menos su duplicación. Esto lo han indicado los estudios de sensibilidad efectuados con el modelo hidrodinámico. Los estudios desarrollados hasta el presente no permiten afirmar que los caudales máximos de los ríos Paraná y Uruguay, vayan a sufrir un incremento sensible como consecuencia del Cambio Climático.

Los vientos

Hay una coincidencia entre los datos aportados por los modelos climáticos globales en lo que se refiere al progresivo desplazamiento hacia el sur, en los próximos 100 años, del límite entre la circulación del anticiclón del Atlántico Sur y la de los vientos del oeste en su borde occidental (América del Sur). Esto traerá aparejado un predominio del componente de viento del Este que a su vez provocará un aumento del nivel medio del Río de la Plata en la parte interior de la costa argentina. Se estima entre los 5 y 10 cm adicionales de aumento en el siglo XXI por este efecto.

Modelado del Río de La Plata

La predicción del comportamiento del Río de la Plata en futuros escenarios posibles de Cambio Climático, requiere de la utilización de modelos mate-

mático-numéricos de los procesos físicos que tienen lugar, implementados en códigos computacionales.

Se plantearon dos objetivos de predic-

ción, a saber, por un lado, el aumento del riesgo de inundación de la zona costera argentina por las sudestadas y, por el otro lado, el riesgo de salinización del Río de la Plata interior como consecuencia del desplazamiento del frente de salinidad, actualmente ubicado aproximadamente en la línea Punta Piedras-Montevideo. Con este fin, se implementaron dos modelos hidrodinámicos.

El modelo denominado RPP-2D, de tipo bidimensional horizontal, abarca la totalidad del Río de la Plata y gran parte del Frente Marítimo. De este modo incluye un dominio de cálculo suficiente como para representar adecuadamente la generación de las ondas de tormenta a partir de los campos de vientos provistos por los modelos climáticos, y así poder determinar las zonas inundadas durante esos eventos.

El modelo denominado RPP-3D, de tipo tridimensional, se extiende sobre un dominio algo menor al anterior, pero que incluye la totalidad de la cuña salina, de modo de poder calcular su desplazamiento frente al aumento del nivel medio del mar.

► Modelo de dos dimensiones

En la *Figura 3.6* se muestra la capacidad del modelo RPP-2D para simular satisfactoriamente el nivel medio anual y los niveles medios estacionales del Río de la Plata en la Ciudad de Buenos Aires.

Se tomó la década de 1990, considerada como representativa de las condiciones presentes.

Las variaciones de nivel medio de una estación a otra dependen de la acción de los vientos, tendencia que el modelo logra representar adecuadamente.

La caracterización del riesgo de inundación en la zona costera se efectuó en términos del tiempo medio esperable entre eventos de ondas de tormenta de una dada intensidad ("tiempo de recurrencia"), el cual se determinó, para las condiciones presentes, a partir de la serie de datos históricos en la ciudad de Buenos Aires.

El modelo RPP-2D permitió calcular el nivel de inundación asociado a cada tiempo de recurrencia a lo largo de toda la costa argentina para las condiciones presentes.

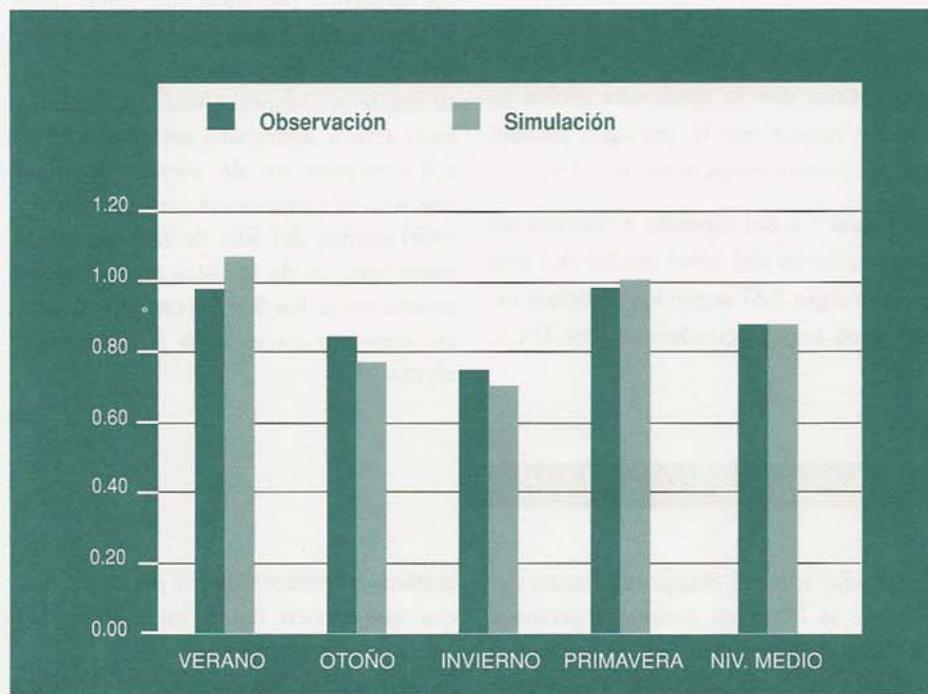


Figura 3-6

Nivel medio del agua
en la Ciudad de
Buenos Aires.

► Modelo de tres dimensiones

El carácter dulce de las aguas del Río de la Plata en su zona interior hace posible la sustentabilidad de la ciudad de Buenos Aires y su área metropolitana, como asentamiento de más de 12 millo-

nes de personas. Para estudiar si el aumento del nivel del mar tendrá efectos sobre la posición del frente de salinidad, se desarrolló un modelo tridimensional del Río de la Plata. Este modelo, *RPP-3D*, simula satisfactoriamente la distribución de salinidad en el Río.

Metodología para la estimación de la recurrencia de inundaciones

Para estimar la **posibilidad de inundación** de una zona de tierra firme costera se debe contar con datos acerca de la altura de esa zona sobre el nivel del mar y de la altura que alcanza el río en ella en cada caso. Esos dos elementos indispensables para tal estimación no se encontraban disponibles para las costas del Río de la Plata antes del Proyecto AIACC LA 26 y del Proyecto Estratégico sobre Inundaciones de la UBA.

La altura sobre el nivel del mar de la máxima crecida histórica medida alcanzó 3,90 m sobre el nivel medio del mar según cotas del IGM en 1944. En el caso extremo de que aumentara el nivel del estuario en un metro, ello se trasladaría a las crecidas extremas por lo que el área potencialmente afectable por alguna crecida hacia el año 2100 sería la

zona con una altitud de menos de 5 m sobre el nivel del mar. Esa zona en el conurbano bonaerense se muestra en la *Figura 3.7*.

Los Proyectos AIACC LA 26 y Estratégico sobre Inundaciones de la UBA desarrollaron a lo largo de toda la costa, debajo de la línea de 5 m, una nueva topografía con una resolución espacial de 1 km., utilizando los mapas del IGM, mediciones con GPS y mediciones de radar desde satélite.

La combinación en un sistema geográfico de georeferenciamiento (GIS) de la topografía y las alturas del Río en la costa para cada periodo de recurrencia permitió obtener las áreas inundables para cada periodo de recurrencia. Este método permitió calcular las recurrencias de inundaciones

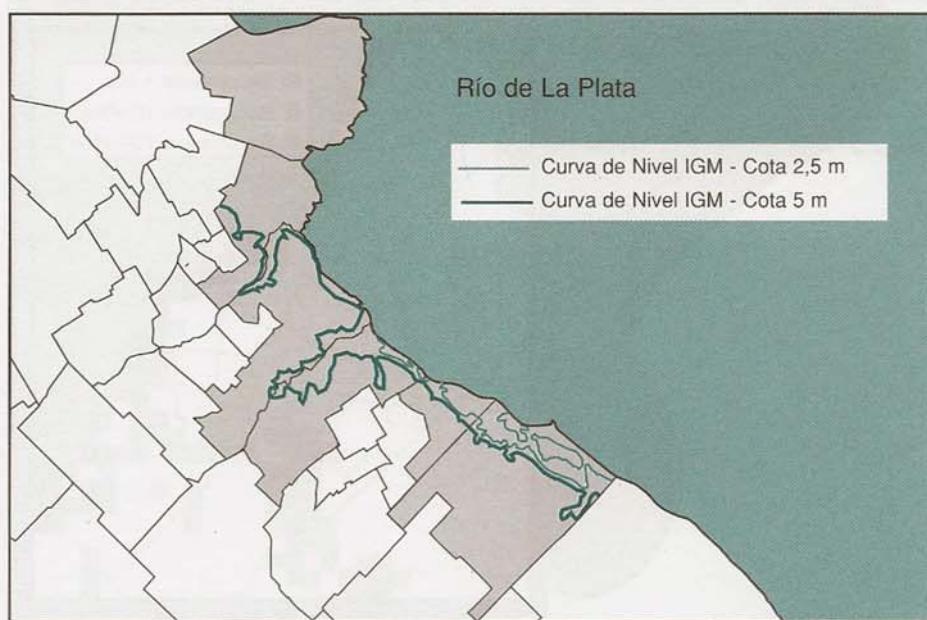


Figura 3-7

Línea de nivel de 5m sobre el nivel del mar y unidades administrativas.



en la franja costera del territorio, no sólo para la actualidad sino para el futuro de acuerdo con los resultados del

modelo *RPP-2D* correspondientes a determinados escenarios climáticos y de aumento del nivel del mar.

Recurrencia de inundaciones en la actualidad

Para determinar las áreas inundables se elaboraron mapas de peligrosidad respecto a las inundaciones teniendo en cuenta la recurrencia de las mismas,

según períodos de 1, 5, 10, 20, 50 y 100 años. La *Figura 3.8* ilustra los resultados obtenidos para las condiciones presentes.



Figura 3-8
Áreas con
recurrencia de
inundación en el
AMBA.

Proyecciones para el Siglo XXI

Resultados:

Recurrencia de inundación en las condiciones futuras

Se determinaron las variaciones de los "mapas de inundación" para los escenarios futuros. La Figura 3.9 muestra los mapas de inundación para el even-

to de 5 años de recurrencia en la actualidad y para un escenario futuro posible en la década de 2030. De acuerdo con este análisis, habría un incremento poco significativo del territorio con riesgo de inundaciones en la costa del Río de la Plata interior

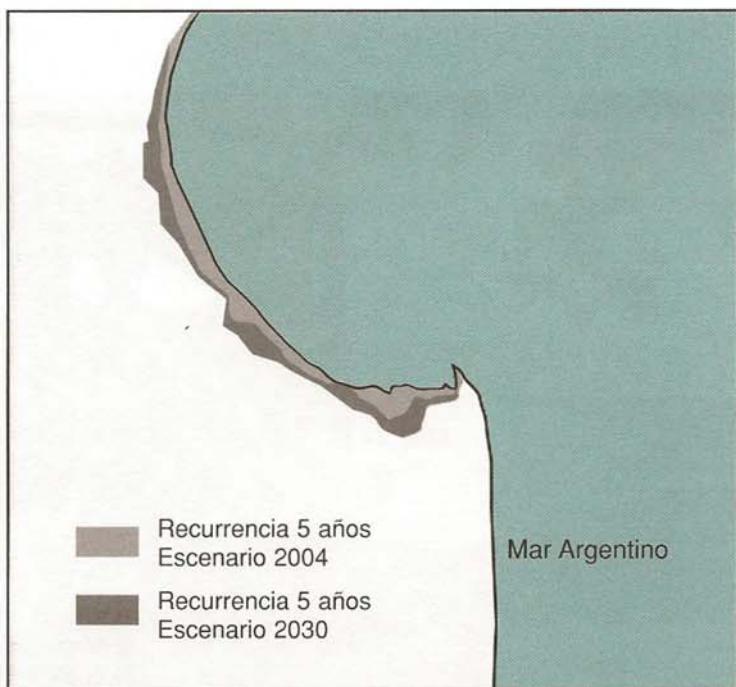
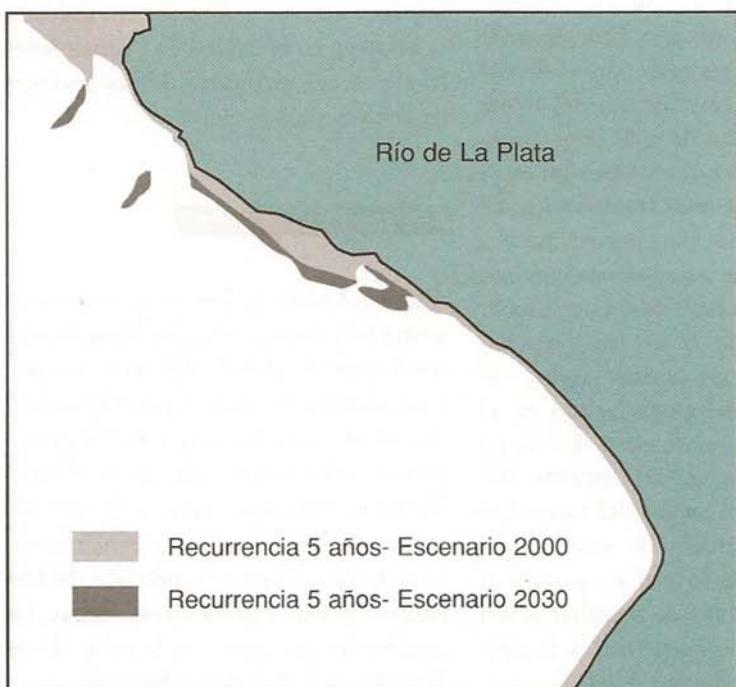


Figura 3-9

Mapa de inundación con una recurrencia de 1 vez cada 5 años.

En cambio, ese incremento es importante sobre la costa del Río exterior. Se elaboraron mapas similares para recurrencias de 1, 5, 10, 20, 50 y 100 años La Figura 3-8 ilustra parcialmente los resultados obtenidos para las condiciones presentes.

► El frente de salinidad

El modelo RPP-3D fue aplicado para determinar la distribución de salinidad en un escenario de aumento de 1 metro en el nivel medio del mar. Este aumento sería el máximo esperable para el fin del siglo XXI. El desplazamiento del frente de salinidad resultó de sólo unos pocos kilómetros. Se ensayó entonces un escenario de aumento muy significativo del nivel medio del mar, para poner a prueba esa estabilidad. Se tomó un incremento de 4 metros. Aún bajo estas condiciones extremas que sólo ocurrirían eventualmente después de varios siglos, el desplazamiento del frente salino en el fondo sólo resultaría de alrededor de 50 Km. Se concluye que el impacto del aumento del nivel medio del mar sobre la posición del frente de salinidad es poco significativo, lo cual, en particular, garantiza condiciones de no salinización en la provisión de agua para la Región Metropolitana de Buenos Aires.

► Erosión costera

Sumado a la simple inundación por el aumento del nivel del mar se anticipa que la línea de costa será erosionada e inundada provocando el retroceso de la misma. La zona ubicada entre Punta Piedras y Punta Indio está sufriendo estos efectos. También se observa la destrucción de infraestructura costera en proximidades de La Plata (Punta Lara y Quilmes) (Figura 3-10). El impacto de olas y destrucción también se observa en la ciudad de Buenos Aires frente al aeroparque y demás sectores de la costanera norte.

► Pérdida de territorio

Aún en el caso de que se corrijan hacia arriba las proyecciones del aumento del nivel medio global del mar y considerando un efecto adicional de unos 5 cm, es poco probable que en los próximos 70 años el aumento de nivel en el Río de la Plata sea mayor a 50 cm. De todos modos el efecto de este aumento se traduciría en una pérdida de territorio poco significativa, dadas las pendientes que presenta la costa desde Tigre hasta la Bahía Samborombón.



Figura 3-10

Estado actual del viejo Hotel Argentino, semidestruido por erosión. Activo basta la década del cincuenta.

La situación de las costas al sur de Samborombón las hace más vulnerables a la pérdida de terreno. Esto no sólo por la escasa pendiente de algunas zonas costeras, sino por la particular estructura blanda del suelo que facilita la erosión ante la mayor frecuencia de las mareas y de olas de gran altura. No hay una estimación de la cantidad de terri-

torio susceptible de pérdida en esta zona, pero se cree que no sería significativa en las próximas décadas.

La zona del frente del Delta del Paraná es otra de las zonas que podría verse afectada, dado que su avance en el que ya se ha señalado una disminución, podría frenarse e incluso revertirse.

Vulnerabilidad

La zona costera más vulnerable al Cambio Climático es la de la Bahía Samborombón.

El área actualmente inundable tiene escasa población y actividad agropecuaria, pero el aumento del nivel de las aguas del estuario afectará con crecidas cada vez más frecuentes a superficies hoy dedicadas a la ganadería e incluso a la agricultura y a la mismas ciudades de General Lavalle y San Clemente del Tuyú.

La zona ubicada entre Punta Piedras y La Plata es vulnerable por erosión costera. La costa ubicada entre La Plata y el frente del Delta del Paraná presentan posibilidad de impactos negativos por el Cambio Climático, tanto por erosión como por inundaciones recurrentes.

► Vulnerabilidad Social

La vulnerabilidad social es una de las cuatro dimensiones del riesgo ambiental.

Otras dimensiones son la peligrosidad física, la exposición y la incertidumbre.

Las condiciones sociales, económicas, culturales e institucionales de una sociedad, que existen previos a la ocurrencia de un evento catastrófico, definen la vulnerabilidad social.

Son condiciones que ponen a esa sociedad en situación de sufrir o evitar daños de diferentes tipos: económicos, psicológicos, en la salud, etc.

La vulnerabilidad social determinará los niveles de dificultad y las capacidades de cada grupo social para recuperarse por sí mismo después del estrés y de los impactos.

Una forma de obtener la "radiografía" de la situación estructural de la sociedad bonaerense y de Capital Federal en condiciones previas a cualquier impacto de tipo catastrófico es usando un índice de vulnerabilidad social.

Índice de vulnerabilidad social

El índice de vulnerabilidad social es una evaluación cuantitativa, estadística, que nos permite identificar de manera preliminar la distribución territorial de diferentes grados de vulnerabilidad social, a través de un conjunto dado de indicadores elegidos al efecto. Las unidades administrativas identificadas con un mayor grado de vulnerabilidad social podrán ser tomadas como estudios de caso para identificar en profundidad, mediante técnicas cualitativas, en qué consiste y cómo se constituye dicha vulnerabilidad social.

La utilidad de un índice de esta naturaleza es brindar una primera aproximación a las heterogeneidades en la distribución geográfica de la vulnerabilidad social, ayudando a priorizar acciones y a elegir las muestras o los casos de estudio con los cuales profundizar el análisis.

El índice de vulnerabilidad social utilizado en el Proyecto AIACC La 26 está formado por una serie de indicadores que se agrupan en tres subíndices, correspondientes a grupos temáticos específicos: un subíndice demográfico, uno de calidad de vida y el último de aspectos del consumo y la producción. De esta forma se logra diferenciar el peso que adquieren los diferentes aspectos considerados, identificando aquello de mayor importancia en la conformación de la vulnerabilidad social de las unidades administrativas.

Los indicadores seleccionados han surgido de la relación entre la representatividad de aspectos sociales, demográficos y económicos básicos, y la disponibilidad pública de los datos.

El área de estudio está conformada por todas aquellas unidades administrativas

que tienen la totalidad o parte de su superficie debajo de la curva de nivel de los 5 metros. La razón para tomar este nivel fue discutido en el punto *Metodología para la estimación de la recurrencia de inundaciones* de este capítulo. Figura 3-7.

Los resultados –ver Tabla 3-2- muestran que Capital Federal, General Sarmiento y Vicente López son las que presentan mayor vulnerabilidad demográfica, con una distribución dispersa dentro del AMBA; mientras que las mejores situaciones se encuentran en San Fernando, Tigre –ambos con superficie importante de islas- y General Sarmiento (los tres del AMBA), y en Castelli, Tordillo, Gral. Lavalle, Magdalena y La Costa, todos de perfil rural.

General Sarmiento, Castelli, San Fernando y Tigre tienen (al contrario que

Departamentos	Subíndice demográfico	Subíndice de calidad de vida	Subíndice productivo	Indice de vuln. social
Esteban Echeverría	3	3	3	4
General Sarmiento	4	4	4	4
Berazategui	3	3	3	3
Berisso	2	3	3	3
Castelli	1	4	2	3
Ensenada	2	3	3	3
General San Martín	3	3	1	3
La Costa	1	2	4	3
La Matanza	3	3	3	3
Lanas	3	3	2	3
Lomas de Zamora	4	3	2	3
Quilmes	4	3	3	3
San Fernando	1	4	3	3
Tigre	3	4	3	3
Avellaneda	3	3	1	2
Capital Federal	4	1	1	2
Chascomús	2	2	2	2
La Plata	3	3	1	2
Morón	3	2	2	2
San Isidro	3	2	1	2
Tres de Febrero	3	3	1	2
Dolores	1	3	2	2
Maipú	2	3	2	2
General Lavalle	1	2	1	1
Magdalena	1	1	2	1
Vicente López	4	1	1	1
Tordillo	1	1	2	1

Referencias

1- Muy bajo

2- Bajo

3- Alto

4- Muy alto

en la situación anterior) las peores condiciones de vida que incrementan la vulnerabilidad social.

En cambio, las unidades que tienen más bajos niveles de vulnerabilidad en relación a este aspecto son dos urbanas: Capital Federal y Vicente López, y dos rurales: Magdalena y Tordillo.

Hay sólo dos partidos que presentan altos niveles de vulnerabilidad por sus condiciones laborales, productivas y de consumo: General Sarmiento y La Costa.

El primero es parte del AMBA y tiene un carácter residencial. El segundo es una unidad administrativa relativamente nueva, separada del partido de General Lavalle en la década del 80 que tiene al turismo como actividad económica preponderante.

En el otro extremo, se encuentran Avellaneda, Capital Federal, General Lavalle, General San Martín, La Plata, San Isidro, Tres de Febrero y Vicente López, con bajos niveles en el % de asalariados de 14 y más años sin descuentos provisionales, y un importante número de propietarios de autos. Todos tienen un perfil urbano, excepto General Lavalle, de tipo rural.

Como síntesis de los tres ejes temáticos señalados, el índice de vulnerabilidad social muestra que Esteban Echeverría y General Sarmiento, partidos del AMBA, tienen los más altos niveles de vulnerabilidad social.

No son partidos litorales, pero sí entran en el área que podría ser afectada, bajo los 5 m. topográficos por influencia de los ríos tributarios del Plata.

En cambio, General Lavalle, Magdalena y Tordillo, partidos de perfil rural, presentan los más bajos valores en el índice de vulnerabilidad social.

El único partido urbano que se encuentra en este grupo es Vicente López, de perfil residencial con población de altos ingresos, que pertenece al AMBA y es vecino de la Ciudad de Buenos Aires.

► Probables impactos sociales por inundaciones

Las inundaciones pueden afectar población y bienes. Por eso fue importante determinar qué población (en cantidad) y qué bienes (según usos y localización) estarían expuestos a inundaciones en el caso de producirse un aumento en el nivel medio del mar como consecuencia del Cambio Climático.

Calcular la cantidad de la población expuesta a futuras inundaciones no es tarea fácil. Hay que contar con la localización de los habitantes de cada municipio e identificar cuántos de ellos se encuentran en un área eventualmente inundable.

Para lograr una cifra aproximada se realizaron cálculos utilizando información provista por el INDEC sobre los datos relevados en el Censo Nacional de Población y Vivienda de 1991, desagregados en radios censales (la menor unidad territorial en la que el Censo tiene agregados los datos) para las unidades administrativas incluidas en el área de estudio.

Esta información se cruzó en un sistema de información geográfica (GIS) para los distintos períodos de recurrencia de las inundaciones y para el escenario actual y los de 2030 y 2070.

En base a esta metodología y de mantenerse la actual cantidad y distribución de población se estima que en el año 2070 serían afectadas en sus viviendas unas 870 mil personas.

Para calcular los bienes patrimoniales expuestos se realizó un relevamiento de oficinas públicas y de seguridad so-

cial, centros de salud, edificios dedicados a la educación, instalaciones de seguridad, áreas de transporte y circulación, industrias y áreas recreativas, para cada uno de las unidades administrativas que configuran el área de estudio. En este relevamiento se identificaron

aquellos bienes ubicados bajo la cota de los 5 metros, lo que dio como resultado el siguiente patrimonio edilicio y constructivo que podría estar expuesto a inundaciones por un aumento en el nivel medio del mar.

Oficinas públicas	125
Seguridad social	17
Centros de salud	205
Educación	928
Seguridad	92
Circulación	41
Industrias	1.046
Áreas recreativas	306

Adaptación

La adaptación a las inundaciones recurrentes por sudestadas tiene una larga historia en la que se desarrollaron estrategias diversas que varían desde componentes culturales hasta estructurales (infraestructura). El barrio de La Boca, uno de los más antiguos de la ciudad de Buenos Aires, constituye un ejemplo de respuestas variadas.

En las áreas inundables del sur del Gran Buenos Aires, hasta hace muy poco el uso del suelo se limitaba casi exclusivamente a la actividad hortícola.

Actualmente se están desarrollando emprendimientos inmobiliarios donde se construyen defensas que dificultan el drenaje de las aguas de las poblaciones vecinas y que si no se tiene en cuenta el progresivo aumento del nivel del Río pueden además de costosas resultar ineficaces.

En la misma ciudad de Buenos Aires, los mayores problemas por las inunda-

ciones se producen, no por el efecto aislado de las sudestadas, sino por las precipitaciones intensas que ocasionan el anegamiento de zonas de alta población y valor inmobiliario. Con una frecuencia de 5 a 10 años, las sudestadas coinciden con fuertes precipitaciones locales que agravan el problema que estas causan al reducirse la posibilidad de escurrimiento de las aguas pluviales.

En las costas del partido de Tigre y las zonas aguas arriba de la desembocadura del Río Reconquista, se han ido desarrollando asentamientos poblacionales de alta vulnerabilidad social. Estas zonas frecuentemente inundables verán agravada su situación a causa de los efectos del Cambio Climático.

En el caso de que se llegara a un aumento importante de la densidad de

población por efecto de desarrollos inmobiliarios en el frente del Delta, zona que como se ha dicho anteriormente presenta una elevada exposición a las sudestadas, se la convertiría en un área de alta vulnerabilidad al Cambio Climático. Se considera que serían de escasa utilidad los sistemas de neutralización mediante infraestructuras de defensa.



En respuesta al ascenso del nivel del Río se pueden seguir diversas opciones. Las más obvias son las extremas: protección de la línea de costa a través de diques, relleno de playas o abandono de actividades permanentes en el área afectada. Las alternativas que se seguirán dependerán en buena medida de la densidad de población y de otros valores sean culturales o históricos y de los costos involucrados. Dado que los escenarios futuros indican un aumento de la frecuencia de inundaciones por sudestadas, quizás la más sabia alternativa es no avanzar con urbanizaciones

sobre los espacios que tradicionalmente fueron inundables por esas tormentas ni sobre las nuevas tierras que genera el crecimiento del Delta.

Los cambios costeros en playas, dunas y erosión de acantilados que ocurren durante las tormentas severas ponen en riesgo la infraestructura edilicia cuando ésta es construida cerca de una línea de la costa vulnerable. Por ello, un adecuado manejo costero debe considerar la magnitud del cambio costero para localizar las construcciones fuera de la zona de peligro. Por otra parte, las modificaciones que se efectúan en la costa con desconocimiento de la dinámica del Río traen aparejados problemas de todo tipo incluyendo inundaciones inducidas por las lluvias intensas en las áreas periféricas a los rellenos y elevaciones costeras. A todo ello se suma el aumento continuo y cada vez más rápido del nivel medio de las aguas que hace que las inundaciones y los daños por tormentas vayan incrementándose.

Todo lo anteriormente expuesto indica que es necesario desarrollar una normativa de manejo costero sobre la base de una conocimiento experto de la dinámica costera y de los efectos sobre ella del Cambio Climático, de manera que el mismo esté presente en los parámetros de diseño de infraestructura y manejo.



REFERENCIAS

- Barrenechea, J.; E. Gentile; S. González y C. Natenzon, 2003: Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social del riesgo. *Proa XXI*, 179-196.
- Barros, V. Camilloni, I. and Menéndez, A., 2003: Impact of Global Change on the Coastal Areas of the Rio de la Plata. *AIACC Notes*, 2: 9-11.
- Camilloni, I. y V. Barros 2003: Extreme discharge events in the Paraná River. *J. Hydrology*, 278: 94-106.
- Codignotto, J. Kokot, R. 2003: Cambio Climático y Vulnerabilidad Costera en el Río de la Plata, Argentina. V Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Mar del Plata, diciembre de 2003.
- Natenzon, C, 2003: Inundaciones catastróficas, vulnerabilidad social y adaptaciones en un caso argentino actual. Cambio climático, elevación del nivel medio del mar y sus implicancias. *Workshop IX: Climate Change Impacts and Integrated Assessment EMF (Energy Modeling Forum)* Snowmass, Colorado. Julio de 2003.
- Natenzon, C.2003: La cuestión del agua. Usos, impactos, conflictos. *Aristas. Revista de Estudios e Investigaciones*, 1, 141-149.
- D'Onofrio, E., Fiore M. and Romero, S. 1999: Return Periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires. *Continental Shelf Research*, 4: 341-366.
- D'Onofrio, E. and Fiore M. 2002: *Report on the Tide Dynamics of the Rio de la Plata al proyecto AIACC LA 26*, 12 pág.
- D'Onofrio, E. y Fiore M. 2003: *Informe sobre residuos de marea en el Puerto de Buenos Aires al proyecto AIACC LA 26*, 11 pág.
- Escobar, G., Barros, V. and Camilloni, I. 2003: Desplazamiento del anticiclón subtropical del Atlántico Sur y su relación con el cambio de vientos sobre el Estuario del Río de la Plata. X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. La Habana.
- Escobar, G., Vargas, W. and Bischoff, S. 2004: Climatic and Synoptic diagnosis of Sudestadas in the Río de la Plata. *Int. J. of Climatology*, 24, 1159-1164.
- Intergovernmental Panel on Global Change (IPCC), 2001: IPCC WGI Third Assessment Report: The Scientific Basis, Chapter 2. Cambridge University Press.
- Jaime, P. y Menéndez, A. 1999, Modelo hidrodinámico Río de la Plata 2000, *Informe LHA-INA 183-01-99*.
- Kind, V. 2004: Desplazamiento del frente de salinidad del Río de la Plata debido al aumento del nivel medio del mar, *Tesis de Ingeniería - FIUBA*, Director: A. Menéndez.
- Mann, M. E., Bradley, R. S. and Hughes, M.K. 1999.: Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties and limitations, *Geophys. Res. Lett.*, 26, pp. 759-762.
- Menéndez, A. y Re, M. 2003: Estudio con un modelo hidrodinámico del aumento del nivel medio del Río de la Plata bajo la acción del cambio climático. *Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria*, Buenos Aires.
- Re, M. y Menéndez, A. 2003: Modelo numérico del Río de la Plata y su frente marítimo para la predicción de los efectos del cambio climático, *XIII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones*, ENIEF'2003, Bahía Blanca.

OTRA BIBLIOGRAFÍA ACCESIBLE SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

Barros, Vicente. El Cambio Climático Global. *Libros del Zorzal*, Buenos Aires 2004. 172 pp.

Organización Meteorológica Mundial: <http://www.wmo.ch>.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático: <http://www.ipcc.ch>.

Preguntas más comunes sobre Calentamiento global, cambio climático y efecto invernadero (página de Greenpeace): <http://www.greenpeace.org/~climate/index.html>.

Programa de investigación sobre Cambio Global de los EE.UU: <http://www.usgcrp.gov/>

Smith, J y otros: *Adaptation to Climate Change. Assesment and Issues*. Springer 1996.

Universidad de East Anglia - Climate Research Unit: <http://www.cru.uea.ac.uk>.



Se terminó de imprimir en febrero de 2005
en Talleres Gráficos Leograf
Rucci 408 - Valentín Alsina
Provincia de Buenos Aires

FUNDACIÓN CIUDAD

I.S.B.N. N° 987-1032-04-8