



CIC

INFORME Final para la Gestión 17-08-09/2006/19-11-12-32-1-2007-08-09
PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA,
EN RELACION CON LOS EFECTOS
HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y EL
CAMBIO CLIMÁTICO

PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN
SUSTENTAVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS
DA BACIA DO PRATA, CONSIDERANDO OS
EFEITOS HIDROLÓGICOS DECORRENTES
DA VARIABILIDADE E MUDANÇAS
CLIMÁTICAS

PREDICCIÓN HIDROCLIMÁTICA

Componente 2a: DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN HIDROCLIMÁTICA

Subcomponente 2a4
Tema 3

EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS

Caracterización y Evaluación de Métodos de Predicción de
Eventos Extremos de Clima y de la Hidrología en la
Cuenca del Plata

Dr. José A. Marengo

GRUPO DE TRABAJO:

Jose A. Marengo,
Angel Menéndez,
Alexandre Guetter,
Terri Hogue y
Carlos R. Mechoso

INFORME FINAL

Versión 2

Noviembre de 2004



FMAM



PNUMA



OEA



FONPLATA



OMM



CIC

ÍNDICE

Página

Resumen Ejecutivo

1. **Introducción**
2. **Sistemas y experiencias operacionales de detección y predicción de eventos extremos en países de la Cuenca del Plata**
 - 2.1 Experiencias en alerta hidrológica en Brasil: SAISP y CGE en el estado de São Paulo
 - 2.2 Experiencias en alerta hidrometeorológica en Brasil: SIMEPAR en el estado de Paraná
 - 2.3 Experiencias en alerta hidrológica en Argentina: El Centro de Alerta Hidrológica del INA
3. **Tipos de instituciones productoras y receptoras de información hidrometeorológica**
4. **Una aplicación de la meteorología e hidrología en la producción de energía eléctrica: Itaipú Binacional**
 - 4.1 Sistema de Control Hidrometeorológico
 - 4.2 Predicciones hidrológicas
5. **Revisión de literatura sobre extremos de lluvia en la Cuenca del Plata**
 - 5.1 Definición de eventos extremos de lluvia y EHE
 - 5.2 Variabilidad intra-estacional y eventos extremos de lluvia
 - 5.3 Variación anual de los eventos de extremos de lluvia en la cuenca del Plata
 - 5.4 Variabilidad interanual de eventos extremos de lluvia en la cuenca del Plata
6. **Aspectos meteorológicos de eventos extremos de lluvia en la Cuenca del Río de la Plata**
 - 6.1 Relaciones entre precipitaciones y los EHE
 - 6.2 Caudales extremos de los ríos Paraná y Uruguay
 - 6.3 Intensidades de los EHE del Paraná y el Uruguay
 - 6.4 Crecidas Más Importantes
 - 6.5 Tributarios de los grandes ríos
 - 6.5.1 Arroyo Batel
 - 6.5.2 Río Salado del Norte
 - 6.5.3. Estimación de los Daños por Crecidas (Fuente: Ministerio del Interior de Argentina 1994)
 - 6.6 Extremos hidrometeorológicos en la parte Uruguaya de la Cuenca del Plata, y discusiones de alertas tempranas de desastre
7. **Casos de estudio de EHE**



FMAM



PNUMA



OEA



FONPLATA



OMM



CIC

- 7.1 Lluvias intensas en los días 1 de Junio y 1 de Octubre de 2001 en el sur de Brasil
- 7.2 Caso de Abril 2003 en Santa Fe
- 8. Predicción y previsibilidad de extremos de lluvia**
 - 8.1 Actividades de predicción meteorológica actual en los centros numéricos de la región usando la técnica de “ensemble forecasting” concentrándose en extremos de lluvia
 - 8.2 Predicción de los casos extremos de lluvia de Junio y Octubre 2001 en el sur de Brasil y de Abril 2003 en Santa Fe
- 9. Modelo hidrodinámico de los ríos Paraná y Paraguay**
 - 9.1 Software EZEIZA V
 - 9.2 Implementación del modelo Paraná/Paraguay
 - 9.3 Aplicación al Alerta Hidrológico del INA
- 10. Modelo hidrodinámico del Río de la Plata**
 - 10.1 Software HIDROBID II
 - 10.2 Implementación del modelo RPP-2D
 - 10.3 Aplicación a la construcción de mapas de riesgo
- 11. Modelos utilizados en pronóstico hidrológico operacional de grandes ríos: Experiencias en otros países**
 - 11.1 Modelos de traslación de ondas de inundación
 - 11.2 Una revisión de modelos utilizados en algunos países
 - 11.2.1 Asia
 - 11.2.2 Europa
 - 11.2.3 Cuenca del Plata
 - 11.2.3.1 Comisión Técnica Mixta Salto Grande
 - 11.2.3.2 Entidad Binacional Yacyreta
 - 11.2.3.3 Sector Privado-Consultor Hidrológico Eduardo Flamenco-Argentina
- 12. Métodos de predicción de inundaciones en grandes ríos**
 - 12.1 Experiencias en la Cuenca del Río Magdalena en Colombia
 - 12.1.1 Medidas de Mitigación en la Cuenca del río Magdalena
 - 12.1.2 Alertas Hidrometeorológicas en la Cuenca del río Magdalena-Cauca
 - 12.1.3 Red actual
 - 12.2 Métodos de predicción de inundaciones en los Estados Unidos de Norte América
 - 12.2.1 Sistema de predicción en los Estados Unidos
 - 12.2.2 Sistema de Predicción del NWS
 - 12.2.3 Datos y Predicciones Climáticas del NWSRFS
 - 12.2.4 Modelos
 - 12.2.4.1 Modelo de Humedad del Suelo
 - 12.2.4.2 Modelo de nieve
 - 12.2.4.3 Centros de Predicción de Ríos
 - 12.3 Métodos de predicción de inundaciones en el Reino Unido
 - 12.3.1 Sistema de Predicción de la EA



CIC

INDEF. D. Dirección de Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos hidrológicos de la variabilidad y el cambio climático
PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENTABLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA, EN RELACION CON LOS EFECTOS HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

INDEF. D. Direção de Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos da Bacia do Prata, considerando os efeitos hidrológicos decorrentes da variabilidade e mudanças climáticas
PROGRAMA MARCO PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO PRATA, CONSIDERANDO OS EFEITOS HIDROLÓGICOS DECORRENTES DA VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

12.3.2 Modelos

12.3.3 Datos y Predicciones Climáticas

13. Consideraciones finales: Extremos de lluvia en escenarios climáticos del futuro

Referencias

Apéndice I

Apéndice II

Apéndice III



CIC

RESUMEN EJECUTIVO

Introducción

Para la realización de este informe el consultor se asesoró con los expertos en el Clima e Hidrología regional, los Drs. Ángel Menéndez, Edgar Montenegro, Alexandre Guetter, y Terri Hogue, todos con una amplia experiencia y autores de numerosos trabajos científicos en esos temas.

Esta componente del la Sub actividad 2 analiza la caracterización y evaluación de métodos de predicción de eventos extremos del clima y de la hidrología en la Cuenca del Plata. Es difícil definir extremos hidrometeorológicos, desde que pueden definirse ya sea por sus impactos (pérdidas económicas, pérdidas de vidas, etc.), o por sus causantes físicos (lluvias por encima de algún valor límite durante un corto periodo, niveles o descargas de ríos mayores que un valor crítico). En este reporte consideramos la segunda definición de extremos. Se describen algunos detalles generales sobre eventos hidrológicos extremos (EHE), desde el punto de vista meteorológico e hidrológico, y se identifica las situaciones meteorológicas que pueden conducir a la presencia e lluvia extremas, así como la presencia de fenómenos meteorológicos de mesoscala a nivel intra-estacional (ejemplo, CCM, SALLJ, frentes fríos, ZCAS) responsables por la dinámica de estos eventos extremos. Un análisis de variabilidad interanual muestra que aun que existe una posibilidad de que haya eventos extremos de lluvia más frecuentes e intensos durante años de El Niño, este fenómeno no explica la mayor parte de la variabilidad asociada a eventos extremos de lluvia. Es claro que uno de los problemas es que EHE y lluvias intensas extremas están íntimamente relacionadas, pero no significan necesariamente lo mismo para un meteorólogo o para un hidrólogo, ya sea dentro de un mismo país o entre los diferentes países de la Cuenca del Plata. Esto motiva de que prácticamente no existe una definición común de EHE en los países de la cuenca.

En este informe se hace un relevamiento sobre el estado actual de las actividades de predicción, detección, monitoreo de EHE en los diferentes países de la cuenca, así como de los criterios para decisiones de alertas hidrológicas que puedan afectar los diferentes sectores de la sociedad. Se da cierto énfasis a las inundaciones como ejemplos de EHE y en la parte operacional a las tareas de operación de embalses y reservorios para generar energía hidroeléctrica en toda la cuenca. Se hace también un inventario de instituciones que producen predicciones operacionales en corto, medio y largo plazo, así como de las instituciones que colectan las predicciones meteorológicas y de EHE y que determinar los diversos grados de alerta para el gobierno y la sociedad. En este sentido, se observan que todos los países ya tienen o están organizando esfuerzos para implementar instituciones que determinan las alertas basadas en informaciones de los servicios meteorológicos e hidrológicos a nivel regional o nacional: La Defensa Civil en Brasil en la en Argentina, el Centro de Alertas de Emergencias Nacional de Paraguay, el Sistema Nacional de Emergencias en Uruguay. Se detectó también que una de las debilidades de los sistemas regionales y nacionales de alertas es la falta de personal y recursos humanos, computacionales y financieros para operar con la misma eficiencia que en Europa o Norte América.

Tema 3 Eventos Hidrometeorológicos Extremos. Sub-actividad 2a.4 Caracterización y Evaluación de Métodos de Predicción de Eventos de Clima y de la Hidrología en la Cuenca de Plata.



CIC

En relación a la predicción meteorológica y de EHE, se observa una cierta ventaja de Brasil en términos de predicción meteorológica, usando técnicas como "ensemble forecasting" para prever eventos meteorológicos que puedan determinar, con aplicaciones para eventos intensos de lluvia. **Basados en estos productos los centros meteorológicos operacionales en Brasil, las secretarías de defensa civil de los estados y la capital determinan las alertas hidrológicas, con criterios que pueden variar de estado a estado. En el caso especial de la ciudad Sao Paulo, existe un sistema avanzado de alerta hidrológico para la ciudad capital solamente, y que realmente es un sistema muy avanzado comparable a los sistemas sofisticados de Europa, pues cuenta con personal entrenado, modelos avanzados y observaciones de lluvia por radar y de la red hidrometeorológica telemétrica que emite alertas.** En Argentina, la ventaja está en el Alerta Hidrológico, que funciona para toda la cuenca del Plata en el lado Argentino. Una combinación de estos dos esfuerzos e instituciones de los dos países podría ayudar a determinar un alerta hidrológico común para toda la cuenca multinacional del Plata. Una de las debilidades en la cuenca es que en lo que respecta a la totalidad de los fenómenos atmosféricos severos considerados. Es común la existencia de no relevamientos de eventos extremos de lluvia, y en mas fundamental, la falta de un criterio común para definir lo que sería un evento extremos de lluvia, o la definición de un valor límite de descarga o nivel de ríos que pueden dan lugar a inundaciones intensas que constituyen un EHE. **Este último es importante pues para alcaldes o prefectos de grandes ciudades, operadores de sistema hidroeléctrico, o para el sector agricultura la definición de EHE varia, y también varia de país en país, haciendo difícil comparaciones e integraciones a nivel de toda la cuenca.** En este informe también se siente una carencia de alertas tempranas en pequeña escala para ciudades vulnerables, como son São Paulo o Buenos Aires. Se indica también un deterioro de los sistemas de alerta antes existentes, así como carencias culturales que dificultan este manejo del tema. **Muchos de los fenómenos meteorológicos adversos y EHE que provocan daños no tienen registros ni evaluación económica de las pérdidas y aún carecen de la debida atención de la sociedad y de las instituciones responsables. Algunos relevamientos fueron realizados para la región sur pero los criterios no pueden aplicarse para toda la cuenca.** Las inundaciones son los eventos de mayor impacto social y que a la vez se presentan como un problema común en toda la cuenca. En este informe se hace un relevamiento de extremos de inundaciones para la parte Argentina de la cuenca, y no fue posible encontrar estadísticas similares para Brasil o Paraguay. **Se presentan experiencias de eventos extremos, analizando sus impactos a la predictabilidad de estos eventos, así como también los esfuerzos y técnicas de predicción de EHE (meteorológicos e hidrológicos) en los países de la región, con casos de estudio importantes de eventos intensos de lluvias en el sur de Brasil, y como EHE la gran inundación de Abril de 2003 en Santa Fe. Al final, se hace un inventario de instituciones productoras de las informaciones, los receptores y usuarios de información, y aquellas responsables por emisiones de alertas hidrometeorológicos, en una tentativa de identificar como estas instituciones operan en situaciones normales y de extremo riesgo debido a lluvia muy intensas e inundaciones.** Con fines comparativos, también se analizan experiencias de sistemas de predicción de EHE en América del Norte, Inglaterra y en la cuenca del Río Magdalena en Colombia.

Recomendaciones para la Actividad 2b

4. Tema 3



CIC

Una información que nosotros creemos es altamente relevante a la futura Actividad 2b es la ausencia de un sistema integrado de predicciones hidrológicas en la cuenca del Plata. Un sistema centralizado de predicciones hidrometeorológicas funciona bien Estados Unidos y Europa y tal vez sea una solución para la cuenca, involucrando instituciones y especialistas (científicos y operacionales) de todos los países de la cuenca en un solo centro, con oficinas regionales en cada país, similar a los Estados Unidos. Esto también establece una necesidad de integración entre los servicios meteorológicos nacionales, las agencias responsables por predicciones hidrológicas y las que emiten alertas. **Algunos resultados preliminares de los cuestionarios por parte de los usuarios muestran que operadores de embalses para generación de hidro-energía usan, ya sea sus propios modelos hidrológicos o aquellos generados por empresas privadas. Estos modelos corren forzados por informaciones de redes meteorológicas, algunas de ellas operadas por telemetría, de los diversos servicios meteorológicos y centros de la región, y con las predicciones de tiempo emitidas por los servicios meteorológicos de Argentina y Uruguay, así como del CPTEC en Brasil y el NCEP en USA, obtenidos por la internet o por medio de contactos directos con estos centros.** Debilidades de este sistema es que los usuarios usan un solo modelo hidrológico diseñado para sus necesidades, y que no permite una aplicación para otros operadores ni una comparación entre modelos o predicciones. Otras debilidades incluye la no existencia un intercambio de información (especialmente lluvia) entre los países de la cuenca, necesaria para correr modelos hidrológicos; la falta de monitoreo de los tributarios de los grandes ríos pues esto complica la predicción de ondas de crecidas que pueden afectar ciudades (como la inundación de Santa Fé de 2003).



CIC

1. Introducción

Tanto las inundaciones como las sequías producen importantes impactos socio-económicos, y es importante desarrollar mecanismos que permitan minimizar sus estos impactos. La convivencia con estos procesos naturales no encuentra en la sociedad una planificación adecuada para enfrentarles en situaciones de emergencia, y muchas veces ni existe mecanismos de predicción de estas situaciones. El desafío asociado para enfrentar estos fenómenos involucra el desarrollo de sistemas de predicción de eventos extremos, de acciones de planificación necesarias para mitigar los impactos, y de un buen manejo de los posibles conflictos resultantes de la ocurrencia de estos eventos. Los eventos hidrológicos extremos (EHE) en la Cuenca del Plata (Figura 1) constituyen fenómenos de gran envergadura, que producen consecuencias significativas sobre las áreas circundantes a los cursos de agua.

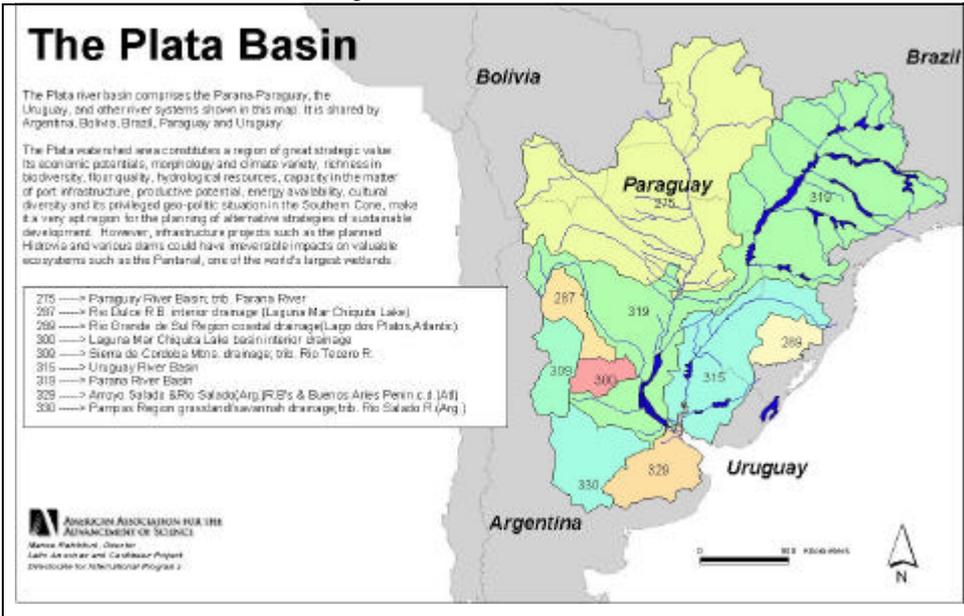


Figura 1 Cuenca del Plata

Para ilustrar los efectos de las crecidas extraordinarias se presentan una serie de imágenes y fotos. En las figuras 2 y 3 se muestran imágenes correspondientes a la crecida de 1983 del río Paraná, que tuvo la particularidad no sólo de ser una de las más intensas del siglo pasado, sino también la más extensa en duración, lo que provocó que el Delta del Paraná perdiera su capacidad amortiguadora y se inundara hasta su desembocadura. En la figura 4 se muestra una imagen asociada a la crecida del Paraná del año 1998. Ambas crecidas estuvieron asociadas a intensos fenómenos de El Niño.



CIC

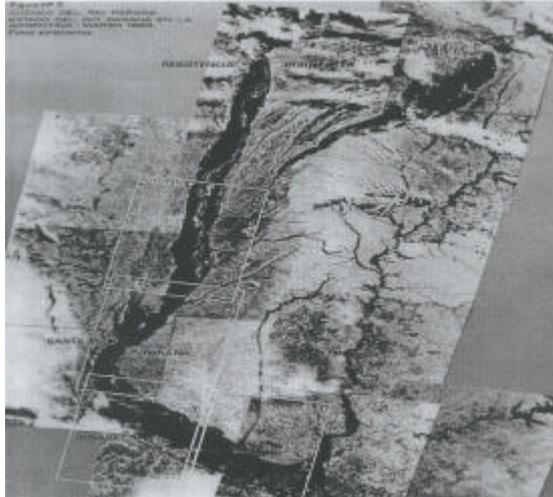


Figura 2 Imagen general de la crecida de 1983 (marzo)

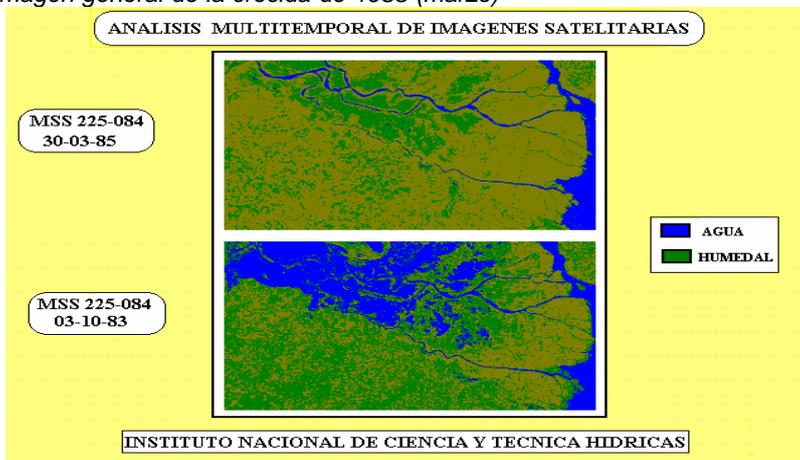


Figura 3 Imagen de la crecida de 1983 en el Delta del Paraná

La mayor parte de esos episodios extremos ocurrieron a partir de mediados de la década del 60, llamando la atención no sólo la magnitud de sus picos (los mayores, 60.200 m³/s en julio de 1983 y 54.000 m³/s en junio de 1992, en Corrientes) - comparable al de las crecidas del siglo XIX y comienzos de este siglo -, sino el aumento de su frecuencia, consecuencia probablemente de los cambios en la incidencia de los sistemas climáticos de gran escala que provocan inundaciones, con implicancias fundamentales en la estimación de los riesgos. En cuanto a la duración, es notable la permanencia del suceso de 1982/3, en el cual los caudales superaron los 30.000 m³/s durante 273 días, en la estación mencionada.

La agudización de los eventos hidrológicos extremos, en intensidad y frecuencia, se asocia al Cambio Climático y al cambio en el uso del suelo. Además, sus consecuencias a veces se ven agudizadas por las intervenciones antrópicas.

En cualquier caso, y más allá de las necesarias consideraciones a tener en cuenta en la planificación de los desarrollos agrícolas y urbanos y en el diseño de las obras de



CIC

protección, es necesario disponer de adecuados sistemas de Alerta, basados en técnicas predictivas confiables. El objetivo de esta Sub-Actividad es analizar la capacidad predictiva de las técnicas existentes. Como base para ese propósito, en este documento se efectúa una breve caracterización del régimen de los EHE y se analiza someramente su relación con los fenómenos climáticos que lo originan o condicionan.

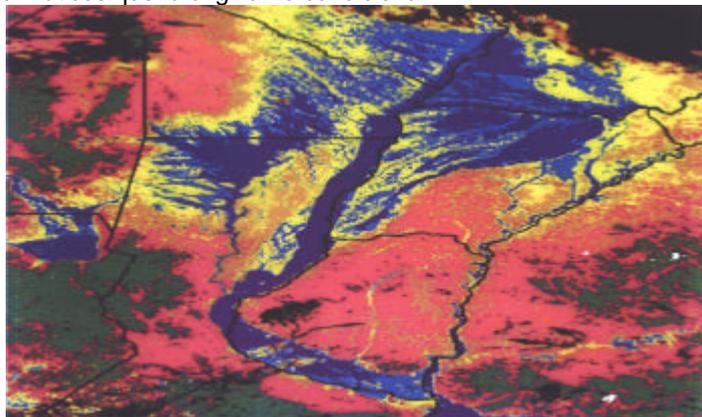


Figura 4 Imagen general de la crecida de 1998 (5 de mayo)

2. Sistemas y experiencias operacionales de detección y predicción de eventos extremos en países de la Cuenca del Plata

Aún no se ha llegado a un consenso sobre la definición de eventos hidrológicos extremos, tanto para lluvia como para descargas de ríos en la región. Los criterios para determinar estos eventos pueden variar desde el punto de vista operacional y de operaciones de embalse, para irrigación, para alertas hidrológicas asociados a inundaciones en grandes ciudades. Los criterios varían de país en país y existen diferentes centros o institutos ya sean a nivel estatal o a nivel federal.

Desde el punto de vista meteorológico, las lluvias intensas y extremas en la región pueden estar asociadas con sistemas convectivos de grande desarrollo vertical, con movimientos verticales que son regidos por las leyes dinámicas (hidrostáticas o no). La convección profunda, característica de los sistemas convectivos intensos, tiene como principales ingredientes el calentamiento de la superficie, un ambiente favorable para el movimiento vertical del aire e inestabilidad atmosférica, y humedad en los niveles bajos de la atmósfera. Los procesos asociados a sistemas convectivos son de escala sub sinóptica (meso escala). La dificultad en la predicción de EHE radica principalmente en la predicción de lluvias intensas y de detectar los eventos meteorológicos que producen estas lluvias con antecendencia, y varios son los estudios que tienen demostrado patrones asociados a valores límite de ciertas variables relevantes a estos eventos extremos. Esto demuestra la necesidad de una unión de esfuerzo entre meteorólogos operacionales y especialistas en dinámica de la atmósfera para identificar sistemas responsables por eventos extremos de lluvias intensas a fin de anticipar a posibilidad de su ocurrencia, y con hidrólogos para que ellos puedan detectar si estas lluvias intensas van a generar eventos de inundaciones intensas.

2.1 Experiencias en alerta hidrológica en Brasil: SAISP y CGE en el estado de São Paulo



CIC

En la parte Brasileña de la cuenca del Plata aun no existe ningún programa sistemático de observación y control de inundaciones. En algunos trechos del Río Paraná se observa que las alertas de inundaciones son hechas basadas en la información de niveles de ríos o en la predicción meteorológica de corto plazo, como son los casos del tramo inferior del Río Paraná, en el Pantanal y en los Ríos Paraguay e Iguazú. Los alertas son emitidos por los municipios, basados en informaciones de los centros meteorológicos de los estados que comprenden la cuenca, que juntamente con las agencias federales de meteorología (CPTEC, INMET) informa a la Defensa Civil, quien toma las acciones de alertas, evacuaciones, etc. En el estado de São Paulo, existe un sistema de alertas de inundaciones con base en radar meteorológico. Este sistema es el SAISP - Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo, que trabaja juntamente con el Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) para alertas en la ciudad de Sao Paulo.

SAISP es operado por la FCTH-Fundación Centro Tecnológico de Hidráulica, y genera boletines sobre lluvias y sus consecuencias en la ciudad de São Paulo cada 5 minutos. El monitoreo hidrológico de la SAISP es hecho por la red telemétrica del Departamento de Águas y Energia Elétrica del estado de São Paulo (DAEE) y por el radar meteorológico de São Paulo. Los principales productos de SAISP son mapas de lluvia observada por el radar de Ponte Nova, lecturas de los puestos de la red telemétrica del Alto Tieté, Cubatão, Registro e Piracicaba, así como mapas con predicciones de inundaciones en la ciudad de Sao Paulo. Mayor información sobre SAISP puede ser encontrada en el web site www.saisp.br. (Ver Figura 5).

La Figura 6 muestra algunos de los productos generados por el SAISP. Para el día 18 de Mayo aparece la imagen del radar con lluvia en el este del estado de Sao Paulo (izquierda) y en la grande São Paulo (derecha) donde se observar lluvias de hasta 5 mm/hora. En base a esta información el SAISP emite alertas de lluvias para la mayor parte del estado de Sao Paulo.

La Figura 7 muestra la red telemétrica de lluvias (izquierda) y de niveles de ríos y reservorios (derecha) en la cuenca del Alto Tieté. Estas estaciones reportan datos a la central en el SAISP cada 5 minutos.

SAISP - Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo

Produtos do SAISP
Últimos Alertas de Chuvas
Último Relatório de Chuvas

Chuvras no Estado de São Paulo

Links Importantes:
 Defesa Civil - SP
 Defesa Civil do Estado de São Paulo
 Defesa Civil do Município de São Paulo
 Defesa Civil do Município de Campinas, SP
 Defesa Civil do Município de Ribeirão Preto
 Defesa Civil do Município de Sorocaba, SP
 Defesa Civil do Município de Araraquá, SP
 Defesa Civil do Município de Marília, SP

O Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), gera a cada cinco minutos boletins sobre as chuvas e suas conseqüências na cidade de São Paulo. O monitoramento hidrológico do SAISP é feito pela Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e pelo Radar Meteorológico de São Paulo, de propriedade do DAEE e adquirido em convênio com a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Os principais produtos do SAISP são:
 - Mapas de chuva observada na área do Radar de Ponte Nova;
 - Leituras de postos das Redes Telemétricas do Alto Tieté, Cubatão, Registro e Piracicaba;
 - Mapas com previsões de inundações na cidade de São Paulo.

Sobre os Produtos

Figura 5. Información general sobre el SAISP (www.saisp.br)



CIC

durante las 24 horas del día, y tiene condiciones de informar, con precisión y antelación, las condiciones meteorológicas en todos los puntos de la ciudad de São Paulo, que pueden causar problemas de anegación e inundaciones. Las imágenes de radar de la FCTH – Fundación Centro Tecnológico de Hidráulica (en Salesópolis, SP), actualizada cada 5 minutos, ayudan al equipo de la CAE en el monitoreo de lluvias, e indicando el potencial pluviométrico de sistemas meteorológicos. Es posible acompañar las descargas en los canales que alimentan la cuenca media del Río Tieté, y así verificar el nivel de los mismos. Otras fuentes de información pueden ser utilizadas para el desarrollo de las tareas operacionales del CGE. Así, el centro puede declarar alertas y emergencias en los diferentes puntos de la ciudad.

La Figura 8 muestra la situación del día 21 de mayo 2004 en la ciudad de Sao Paulo, indicando que en las diferentes regiones la situación es normal y no hay declaración de emergencias debido a lluvias intensas o inundaciones. En comparación, la Figura 9 muestra la situación de la ciudad durante el día 2 de febrero de 2004. En este día las lluvias intensas dieron lugar a 47 puntos de inundación, y la información del CGE indica las características de estos puntos, tales como si aun están activos o no, el local, inicio y final, y el sentido (caso que ocurra en una avenida).

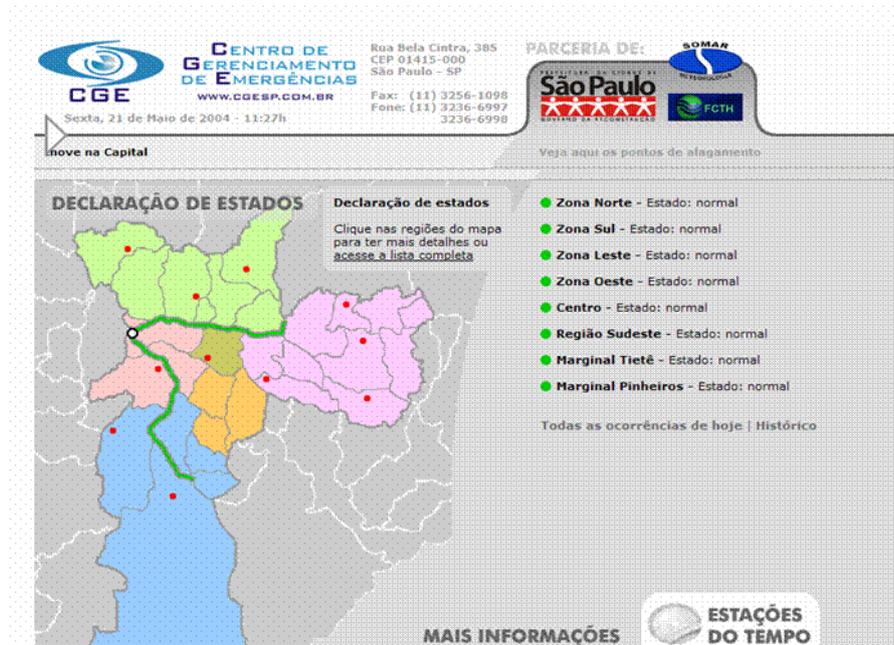


Figura 8. Situación hidrológica de la ciudad de São Paulo para el día 21 de mayo de 2004, que fue considerada de NORMAL (Fuente: CGE)



CIC



Figura 9. Situação hidrológica de la ciudad de São Paulo para el día 2 de febrero de 2004, donde con 47 puntos de inundación fueron detectados y monitoreados (Fuente: CGE)

2.2 Experiencias en alerta hidrometeorológica en Brasil: SIMEPAR en el estado de Paraná

El Instituto Tecnológico SIMEPAR, anteriormente llamado de Sistema Meteorológico del Paraná, es una entidad del sector privado y de interés público, que tiene como finalidad consolidar una infra-estructura física y humana para proporcionar informaciones (datos y predicciones) meteorológicas, hidrológicas y ambientales. Los productos que ofrecen son del tipo meteorológico y climatológico (estudios climatológicos, diagnósticos y asociaciones entre El Niño, lluvias y descargas de ríos, así como impactos de cambio climático en el ciclo hidrológico. Otro tipo de información es de tipo hidrometeorológica, como predicciones para operación hidroenergética. Con la integración de la información de radar, rayos y satélites y las predicciones de los modelos, el SIMEPAR también hace predicciones de eventos extremos o severos, con énfasis en los impactos en el sector eléctrico. La figura 10 muestra productos elaborados y disponibilizados continuamente por el SIMEPAR para la detección de rayos y lluvia intensa, que pueden generar eventos extremos de lluvia que afecten el sistema eléctrico en la región. Mayor información puede ser encontrada en el web site (www.simepar.br).



CIC

Descargas Atmosféricas - Última Imagen



Radar Meteorológico - Última Imagen

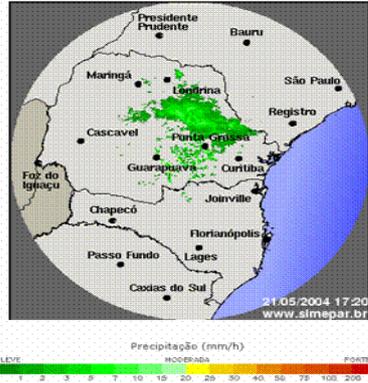


Figura 10. Descargas atmosféricas (izquierda) e imagen de lluvia en el radar meteorológico para el día 21 de mayo de 2004 (Fuente: SIMEPAR)

2.3 Experiencias en alerta hidrológica en Argentina: El Centro de Alerta Hidrológica del INA

Las inundaciones son un problema mayor en la cuenca del Plata. La pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños a la infraestructura y a la economía son desastres recurrentes debido a la severidad, periodicidad y permanencia en el tiempo de estos eventos, particularmente en las sub-cuencas de los ríos Paraná, Uruguay y en la cuenca baja del Río Paraguay.

El Centro de Alerta Hidrológica de Argentina informa que la duración promedio de las inundaciones ocurridas entre 1987 y 1998 ha sido entre los 7 y los 40 días. Sólo en Argentina los daños directos e intangibles de estas inundaciones se estimaron en 2,640 millones de dólares y 235,000 personas evacuadas. Las inundaciones del período 1991-92 significaron para este país una pérdida de 513 millones de dólares, más de 3 millones de hectáreas inundadas y 122,000 personas evacuadas. En el estado de Santa Catarina, en Brasil, las mismas inundaciones del Paraná (como en la ciudad de Blumenau) significaron pérdidas equivalentes al 8% del PIB anual de este estado. Las inundaciones también causan graves daños en las ciudades costeras y a las actividades económicas en la cuenca del río Uruguay. Durante el evento de El Niño de 1982-83 en el Uruguay medio fueron afectadas más de 40,000 personas, en más de 70 ciudades; las pérdidas estimadas por este evento en toda la Cuenca del Plata se ha estimado en más de un billón de dólares. Mayor información sobre el Centro de Alerta Hidrológica puede ser encontrada en el web site www.ina.gov.ar/alerta/mensaje.htm. La Figura 11 muestra parte de la página principal de este web site. Se indican las informaciones más relevantes que aparecen en la página,



CIC

como son las informaciones que el centro ofrece para monitoreo de extremos hidrológico y meteorológicos. La Figura 12 muestra una ampliación de la información que aparece en la parte izquierda de este web site.



Figura 11. Pagina web del Sistema de Alerta Hidrológica de Argentina (Fuente: INA)



Figura 12. Ampliación de la información del web site de Alerta Hidrológica (parte izquierda da Figura 11).



CIC

Una muestra del tipo de información disponible es la Situación Hidrológica donde aparecen informaciones hidrológicas y meteorológicas en todo el tramo del Río Paraná y Uruguay así como los niveles de los principales embalses en la región y el pleamar del Río de la Plata, todo para el día 21 de mayo 2004 (Figura 13).

La Figura 14 muestra la predicción hidrológica del Río Paraná para el día 20 de Mayo 2004. Se observa que para este siguiente periodo no hay alertas de extremos hidrológicos que generen avisos de evacuación.

PRONÓSTICO HIDROLÓGICO SOBRE EL RÍO PARANÁ
(actualizado 20-May-2004)

Estaciones	Nivel Actual (m)	Altura Media MAYO (Período 1977 / 2001)	Nivel de Alerta	Nivel de Evacuación	Registros Máximos Históricos (m)	Pronóstico (m) para el	Estado	Pronóstico (m) para el	Estado
	20-May-2004	(m)	(m)	(m)	Máximo(año)	23-May-2004		28-May-2004	
CORRIENTES	3.50	4.46	6.50	7.00	9.04 (1983)	3.52		3.20	
BARRANQUERAS	3.58	4.35	6.50	7.00	8.58 (1983)	3.60		3.30	
GOYA	3.55	4.32	5.20	5.70	7.20 (1992)	3.70		3.50	
RECONQUISTA	3.04	4.25	5.10	5.30	7.20 (1905)	3.22		3.00	
LA PAZ	3.33	4.76	5.80	6.50	7.97 (1992)	3.57		3.76	
PARAÍÁ	2.33	3.88	5.00	5.50	7.35 (1983)	2.50		2.76	
SANTA FE	2.60	4.38	5.30	5.70	7.43 (1992)	2.75		3.00	
ROSARIO	2.49	4.03	5.00	5.30	6.44 (1998)	2.46		2.55	

El valor que se indica en Santa Fe corresponde a la lectura de escala de Prefectura Naval Argentina + 7 cm

* A **Valores que superan el nivel de alerta * E **Valores que superan el nivel de evacuación
 * s/d **Sin dato.

Figura 13. Predicción hidrológica del Río Paraná para el día 20 de Mayo 2004 (Fuente: Alerta Hidrológico-INA).

Este Sistema de Alerta ha tenido sustanciales progresos en información y pronósticos, mejorando sus respuestas en las distintas inundaciones que sufrió la cuenca desde entonces (crecidas de 1987, 1989, 1992, 1995 y 1997/1998) y también en las bajantes pronunciadas (1985, 1988 y 1999/2000) que tiene singular interés para programar la actividad portuaria con relación a la navegación fluvial. Por ese motivo, en la actualidad el Sistema también efectúa pronósticos de estiaje. Los resultados prácticos de esta experiencia, que ya supera los quince años, demuestran que valió la pena el esfuerzo de desarrollar el proyecto. A modo de ejemplo, es interesante observar que durante la crecida producida en el comienzo del año 1998 se emitieron los avisos de alerta que daban cuenta de la llegada de una onda importante con antelación de cuarenta días y se brindaron pronósticos precisos de alturas de agua con una anticipación de siete días para la ciudad de Corrientes, doce días en Goya, veinte días en La Paz y 25 días en Santa Fe.

3. Tipos de instituciones productoras y receptoras de información hidrometeorológica

Podría decirse que a diferencia de Argentina, donde el sistema de alerta opera para todo la Cuenca del Paraná y Uruguay y con alertas y monitoreo continuo, en la parte de la cuenca en Brasil este monitoreo y sistema de alerta no es tan general y continuo como en Argentina, pues es operado por entidades del estado o de las ciudades y municipios.



CIC

En Brasil, alertas de eventos extremos de lluvia son emitidas por el CPTEC, INMET como órganos federales, y por los centros meteorológicos estatales o las direcciones regionales del INMET en los estados de la cuenca (CEPAGRI, CLIMERH, SIMEPAR, DISME 8th). Alertas hidrológicas son elaboradas tomando en consideración lluvias extremas y cambios en los niveles de ríos, y son emitidas por los municipios locales juntamente con las oficinas sectoriales y federal de la Defensa Civil. Un caso especial es el estado de Sao Paulo, donde el SAISP y el CGE hacen monitoreo y emiten alertas de eventos de lluvias extremas y de inundaciones en el estado y en la ciudad de Sao Paulo para el público en general. En los estados de Santa Catarina y Paraná, el CLIMERH y SIMEPAR emiten predicciones de eventos extremos de lluvia intensa, siendo los usuarios del SIMEPAR (como entidad del sector privado) más del ramo del sector eléctrico. El INA, que es quien elabora las alertas hidrológicas, usa las predicciones de tiempo emitidas por el Servicio Meteorológico de Argentina, juntamente con las del CPTEC en Brasil y del NCEP en EEUU.

La Tabla 1 muestra una relación de agencias e instituciones estatales y nacionales que caen en la categoría de productores de información y los receptores de información, y este relevamiento se hizo para los diversos países en la Cuenca del Plata. Direcciones y contactos de estas organizaciones productores y receptores de información aparecen en el Apéndice I.

Juntamente con los órganos productores de información y predicciones meteorológicas e hidrológicas, así como de servicios de alerta tanto a nivel de estado o provincia y a nivel nacional, existe también una grande variedad de receptores de estos productos y servicios. Entre los usuarios se encuentran la Defensa Civil, diversos usuarios en el sector agropecuario como son las cooperativas y asociaciones de productores, y el sector hidroeléctrico como son las compañías generadoras de energía que en la cuenca tienen un carácter multinacional (Itaipú, Yacyretá, Salto Grande). Las empresas que operan servicios eléctricos a nivel de estado y país, y algunas de carácter multinacional (e.g. Duke Energy) dependen fuertemente de las alertas emitidas por los centros productores de información. Otros receptores de información pueden ser también centros de investigación y agencias reguladores de servicios de agua y energía.



CIC

SITUACIÓN HIDROLÓGICA

MENSAJE N° 5030 – 20 de enero de 2004

RÍO PARANÁ EN BRASIL

En la última no se produjeron precipitaciones de importancia. Sólo en las nacientes se registraron algunos montos, de hasta 60mm.

En JUPIÁ el caudal venía disminuyendo en la semana, repuntando levemente desde ayer. Hoy ronda los 6.100m³/s. En PORTO PRIMAVERA también se observa un pequeño repunte desde ayer, colocándose la descarga esta mañana en 6.700m³/s. Promedió en la semana unos 6.400m³/s. El aporte del Paranapanema desde ROSSANA venía en franca disminución en los últimos días, repuntando desde ayer. Hoy alcanza los 1.000m³/s.

El aporte conjunto de los ríos Ivaí y Piquirí es acotado, desciende lentamente, rondando actualmente los 500m³/s.

El caudal promedio semanal en GUAIRA continuó disminuyendo lentamente, de 9.100m³/s a 8.800m³/s. La media mensual en enero ronda 8.800m³/s. Hoy alcanza los 7.700m³/s, en descenso.

En ITAIPÚ la descarga semanal disminuyó levemente con respecto a la semana anterior. El promedio semanal se estabilizó en el orden de 8.900m³/s.

RÍO IGUAZÚ

Las lluvias fueron escasas en la última semana, con acumulados medios areales entre 10 y 20mm concentrándose en la cuenca alta.

Para los próximos 5 días se esperan precipitaciones intensas en las nacientes con montos acumulados que superarían los 100mm; en el resto de la cuenca los valores estarían entre 40 y 80 mm.

En SALTO CAXIAS la descarga media semanal aumentó de 1100m³/s a 1.200m³/s, sin llegar a los valores normales para enero.

El caudal medio semanal en CAPANEMA aumentó de 1650m³/s a 1830m³/s.

Esta mañana registró un máximo diario de 1920m³/s.

En ANDRESITO el nivel medio semanal repuntó de 0,84m a 1.01m, siendo el valor medio mensual de 1,00m, considerando los últimos 20 años.

El caudal medio diario descargado al Río Paraná promedió en la semana 1.430m³/s, contra 1.230m³/s de la semana anterior. El promedio mensual en lo que va de enero es de 1.200m³/s, en el orden de un 30% por debajo del valor medio mensual de los últimos 20 años.

RÍO PARAGUAY

Se registraron las siguientes precipitaciones a acumuladas (semana 13 al 19/01/04):

Cuenca alta: en las nacientes entre 10 y 60mm. **Cuenca media:** sin precipitaciones significativas. **Cuenca baja:** entre 10 y 20 mm. En las nacientes del río Pilcomayo se registraron precipitaciones entre 10 y 50 mm.

Para los próximos 5 días: se esperan en las nacientes precipitaciones de hasta 100 mm y en el Pantanal entre 30 y 60 mm. Cuenca media: hasta 10 mm y baja: hasta



CIC

20 mm.

Lecturas hidrométricas

BAHÍA NEGRA (último registro: 19/01): 1,95m, continúa estable en la última semana, la media en lo que va del mes de *enero* es: 1,92m. *Valor normal en enero: 2,12 m, (últimos 25 años).*

OLIMPO (último registro: 19/01): 3,03m, descendiendo 13 cm en la última semana. La media del mes hasta la fecha actual: 3,17 m.

CONCEPCIÓN (último registro: 19/01): 2,30m, en marcado descenso, la media del mes hasta la fecha actual: 2,72 m. *Valor normal en enero: 3,30 m, (últimos 25 años).*

Pto. PILCOMAYO (hoy 20/01): 3,46m, descendiendo casi 70 cm en la última semana. La media en lo que va del mes de *enero* es: 4,35 m. Mantendrá el descenso en los próximos días. *Valor normal en enero: 3,52 m, (últimos 25 años)*

FORMOSA (hoy 20/01): 5,19m, descendiendo más de 50 cm en la última semana. La media en lo que va del mes de *enero* es: 5,71 m. *Valor normal para enero: 4,29 m (últimos 25 años).*

El caudal descargado en la Pilcomayo-Asunción el día martes 20/01 no supera los 3000 m³/seg.

TRAMO MEDIO DEL RÍO PARANÁ EN TERRITORIO ARGENTINO

En la última semana las lluvias fueron muy reducidas. Sólo en el centro del Litoral se produjo un evento (poco significativo) alcanzando hasta 50mm acumulados.

En confluencia Paraná-Iguazú el caudal promedio semanal fue de 11.800m³/s, ligeramente superior al de la semana anterior e inferior al valor normal de los últimos 20 años.

La lectura en PUERTO IGUAZÚ promedió en la semana 12,64m, casi idéntico a los 12,60m de la semana anterior. Se ubica unos 3,65m por debajo del valor normal de enero de los últimos 25 años.

El aporte en ruta en el tramo paraguayo-misionero del río se ubica en el orden de los 400m³/s, en descenso.

En YACYRETÁ la descarga media semanal rondó los 12.200m³/s, inferior a la de la semana anterior en 1.300m³/s. Para hoy se espera una efluencia de 13.000m³/s y para mañana 13.100m³/s.

En la sección CORRIENTES-BARRANQUERAS las lecturas de escala promediaron en la semana 3,84m-3,93m, respectivamente, descendiendo respecto de la semana anterior: -0,47m y -0,44m.

Los promedios semanales descendieron en todo el tramo hasta Rosario, entre 10 y 20 cm.

TRAMO INFERIOR Y DELTA DEL RÍO PARANÁ

Se han estabilizado los niveles del tramo inferior en esta tercera semana de enero. En el Delta Inferior es determinante la evolución en el estuario del río de la Plata. En lo sucesivo prevalecería una tendencia lentamente descendente.

En la siguiente tabla se resume la información correspondiente a las estaciones principales en el tramo. Se indica el valor a la fecha, los promedios



CIC

semanales y el promedio en el mes corriente, expresados en metros.

RÍO URUGUAY

Precipitaciones acumuladas (semana del 13 al 19/01/04)

Alta cuenca: entre 10 y 40 mm, **cuenca media:** hasta 20 mm, y **cuenca baja:** hasta 10 mm.

Para los próximos cinco días se prevén precipitaciones entre 30 y 50mm en la alta cuenca, entre 10 y 50mm en la cuenca media, y hasta 10 mm en la cuenca baja.

El caudal de ingreso al tramo compartido **argentino-brasileño** era esta mañana (20/01) levemente inferior a 1200 m³/s en descenso.

En las estaciones **SANTO TOMÉ** y **PASO DE LOS LIBRES** el caudal alcanza hoy el valor de 1950 y 2420 m³/s respectivamente.

El aporte al embalse de **SALTO GRANDE** ronda hoy algo inferior a los 2900 m³/s, el aporte medio durante la última semana ha sido levemente inferior a los 3550m³/s. La descarga promedio en la última semana no ha superado los 3500 m³/s, mientras que la **descarga** hoy superaba los 2250 m³/s.

En **CONCORDIA** se registró esta mañana una altura de 2,26m en descenso, con un promedio semanal de 3,16m En **PUERTO GUALEGUAYCHÚ** se registró hoy una altura de 1,46 m en ascenso, con un promedio semanal de 1,58 m.

RÍO DE LA PLATA

El **Servicio de Hidrografía Naval** pronosticó esta mañana para el Río de la Plata Interior (válido hasta las 19:00hs de hoy) la siguiente corrección: "coincidiendo con los valores tabulados, luego disminuyendo 20 cm por debajo de estos".

Para el puerto de **BUENOS AIRES** se preveía una pleamar de 1,10m a las 17:30hs, mientras que para el puerto de **SAN FERNANDO**, pronosticó una correspondiente pleamar de 1,15m a la 18:30hs de mañana.

Figura 14. Sistema de alerta hidrológico para los Ríos Paraná y Uruguay, actualizado para el periodo 18 de mayo 2004 (Fuente: Alerta Hidrológico-INA).

Dado el interés en obtener información sobre sistemas o experiencias operacionales de detección y predicción de eventos extremos en la Cuenca del Plata, y con la finalidad de realizar un análisis comparativo y discutir ventajas y desventajas, se elaboró un cuestionario que debe ser enviado a los principales órganos productores de información y a los principales entidades receptoras de información y alertas hidrometeorológicas, especialmente los usuarios de servicios eléctricos y las agencias reguladoras y administradoras de hidroenergía en los países de la cuenca. Este cuestionario va a ser distribuido prontamente por el Grupo de Trabajo, juntamente con una carta de acompañamiento que explique la idea del cuestionario y los objetivos del proyecto. Esta carta aparece como Apéndice 2, y los cuestionarios aparecen como Apéndice 3 (para productores de información) y Apéndice 4 (para los receptores de información). Se espera que después del análisis de las respuestas se puedan conocer y detallar los diferentes



CIC

procesos operativos de los variados tipos de embalses utilizados en la Cuenca del Plata para regularizar los caudales y caracterizar los extremos de los mismos en base a las series naturales.

Tabla 1. Organizaciones productoras y receptoras de información hidrometeorológica y servicios de alerta en los países de la Cuenca del Plata.

Brasil:

Productores	Receptores
CPTEC/INPE-Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos INMET-Instituto Nacional de Meteorologia SIMEPAR-Instituto Tecnológico SIMEPAR CLIMERH - Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina - Florianópolis/SC CEPAGRI-UNICAMP Meteorologia - Universidade Estadual de Campinas - Campinas/SP USP/IAG - Universidade de São Paulo - Instituto Astronômico e Geofísico - São Paulo/SP SAISP-Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo CGE-Centro de Gerenciamento de Emergências, SP Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo CLIMATEMPO SOMAR Meteorologia	Sectores Agropecuario, Navegación, Energético: Copagril - Cooperativa Agrícola Mista Rondon Ltda Cotrefal - Cooperativa Agropecuária Três Fronteiras Ltda FAEP - Federação da Agricultura do Estado do Paraná FAPA - Fund. Agrária de Pesquisa Agropecuária FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária)-RS OCEPAR (Sindicato e Organização das Cooperativas do Estado do Paraná) Colari - Cooperativa de Laticínios de Mandaguari Copagril - Cooperativa Agrícola Mista Rondon Ltda Cotrefal - Cooperativa Agropecuária Três Fronteiras Ltda FAEP - Federação da Agricultura do Estado do Paraná FAPA - Fund. Agrária de Pesquisa Agropecuária FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária)-RS OCEPAR (Sindicato e Organização das Cooperativas do Estado do Paraná) AES Sul - Distribuidora Gaúcha de Energia S.A AES Tietê SA ABRAGE (Associação Brasileira das Grandes Empresas Geradoras de Energia Elétrica) COPEL Distribuição SA COPEL Geração SA



CIC

	<p>COPEL Transmissão SA CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) Duke Energy International- Geração Paranápanema ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A. LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) / CEHPAR (Centro de Hidráulica e Hidrologia Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo CESP (Companhia Energética de São Paulo) Furnas Centrais Elétricas S.A. Grupo Rede Endesa (CDSA/CIEN) Itaipú Binacional LIGHT Serviços de Eletricidade S.A. Tradener Comercialização de Energia Tractebel Energia S.A. Comisión Técnica Mixta de Salto Grande Defesa Civil do Estado do Paraná Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil FINATEC - Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos IAP - Instituto Ambiental do Paraná CEPEL-Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CCPE/MME - Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos/Ministério de Minas e Energia SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental SEAB-Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento do Paraná ONS-Operador Nacional do Sistema Elétrico) ANA -Agência Nacional de Águas</p>
--	---

Argentina

4. Tema 3



CIC

Productores	Receptores
Instituto Nacional del Agua y del Ambiente-Alerta Hidrológico Servicio de Hidrografía Naval Servicio Meteorológico Nacional CIMA-Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera/Universidad de Buenos Aires	Sectores Agropecuario, Navegación, Energético: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Instituto del Clima y Agua Subsecretaria de Recursos Hídricos Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable Entidad Binacional Yacyretá Comision Técnica Mixta de Salto Grande

Paraguay

Productores	Receptores
DINAC - Dirección de Meteorología e Hidrología	Sector Agropecuario e Energético Asociación Rural- Asunción Itaipú Binacional

Bolivia

Productores	Receptores
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)-La Paz Servicio Nacional de meteorología e hidrología, regional Tarija AASANA- Administración Aeroportuaria de Servicios a la Aeronavegación	Sector Agropecuario y Energético Oficina Técnica de las Cuencas del Pilcomayo y Bermejo Asociación San Jacinto

Uruguay



CIC

Productores	Receptores
Dirección Nacional de Meteorología	Sector Agropecuario, Navegación y Energético: Comisión Técnica Mixta de Salto Grande Ministerio de Transporte y Obras Públicas Dirección Nacional de Medio Ambiente Administración de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) Intendencias municipales Dirección General de Recursos Naturales

4. Una aplicación de la meteorología e hidrología en la producción de energía eléctrica: Itaipú Binacional

La Itaipú Binacional es una entidad resultante de la asociación Brasileña-Paraguaya para la construcción y operación de la Central Hidroeléctrica de Itaipú, actualmente la mayor hidroeléctrica del mundo en relación a la capacidad instalada: son 12.600 MW distribuidos en 18 unidades de 700 MW cada una. Dos nuevas unidades están en instalación y deben elevar su capacidad total para 14.000 MW. La producción en 2000 fue de 93,4 billones de KW/hora, y fue responsable por el 95% del consumo de energía de Paraguay y 24% del mercado brasileño. La hidroeléctrica se ubica en el Río Paraná en el trecho compartido entre Brasil y Paraguay, próxima a las ciudades de Foz de Iguazú (Brasil) y Ciudad del Este (Paraguay).

Tanto la meteorología como la hidrología tienen un papel fundamental en la producción de energía a partir de grandes generadores hidráulicos, pues la afluencia a los reservorios constituye el recurso disponible para la generación de energía. Así, una predicción de la afluencia o entrada de agua en los próximos días es fundamental para mantener la eficiencia de la producción de energía, así como la supervisión de eventos en tiempo real apoya en forma directa la obtención del máximo beneficio a partir de los recursos hídricos disponibles durante la operación en tiempo real.

4.1 Sistema de Control Hidrometeorológico

El sistema está basado en algunos aplicativos disponibles en el mercado:

-Colecta de datos: Los datos climáticos e hidrológicos, así como informaciones sobre sistemas meteorológicos, imágenes de satélite, radar y descargas eléctricas con colectados por sensores remotos, transmitidos en forma automática por sistemas de comunicación de satélites y recibidos por internet. También por este último medio se colecta datos de otras entidades como SIMEPAR, DINAC, COPEL, ANA, CNOS.

-Supervisión hidrometeorológica: La situación meteorológica e hidrológica reciente y actual son analizadas en conjunto para que toda la información recibida sea validada. Eso permite acompañar los procesos meteorológicos e hidrológicos en desarrollo de modo que pueden tomarse medidas correctivas para la operación diaria y futura. El acompañamiento

4. Tema 3



CIC

meteorológico se realiza con productos de predicción meteorológica elaborada por el SIMEPAR y del DINAC de Paraguay. El SIMEPAR disponibiliza informaciones meteorológicas a través de su página en la web dedicada exclusivamente para las necesidades de Itaipú Binacional, y las predicciones numéricas son visualizadas a través del sistema METVIS desarrollado por el SIMEPAR. La supervisión hidrológica consiste en visualizar el estado de las descargas e niveles de los ríos en cada una de las estaciones fluviométricas ordenadas a lo largo de los tributarios del Río Paraná y Iguazú. Así, es posible conocer, por ejemplo, conocer el momento en que se comienzan a generar ondas de inundaciones en cualquiera de los cinco afluentes en la región además de los Ríos Paraná e Iguazú, pudiendo entonces ser prevista la llegada de tales volúmenes de agua tanto para el reservorio como para aguas debajo de Itaipú, y considerar así las acciones a ser tomadas para eliminar o minimizar sus efectos.

4.2 Predicciones hidrológicas

Las predicciones de tiempo cuantitativas y cualitativas son emitidas por una serie de entidades, así el escenario meteorológico e hidrológico es elaborado como una estimación de la situación meteorológica futura, e son introducidas en los modelos hidrológicos disponibles, que estiman la descarga con la que cada río va a contribuir para el reservorio de Itaipú. Actualmente los modelos en operación están calibrados para el área incremental situada entre las hidroeléctricas de Rosana e Itaipú en la zona inicial superior, y entre las hidroeléctricas de Itaipú y Caxias hasta la estación de Carlos Antonio López, que está ubicada entre el Río Paraná a 120 km aguas debajo de Itaipú.

La predicción hidrológica se realiza usando el Modelo Sacramento que funciona con pasos de tiempo horario y diario. También se usa el SIMPREVA, que consiste en una serie de aplicativos que permiten calcular descargas a partir de precipitaciones observadas y previstas. La predicción hidráulica se realiza una vez definida la contribución de las descargas provenientes en cada una de las áreas, siendo necesario definir el tiempo que demorarán los volúmenes de agua en llegar hasta el reservorio de Itaipú y estar disponibles para generación de energía. Los modelos usados son SOBEK, modelo de conductos libres (CLIV) y el SIMPREVA.

5. Revisión de literatura sobre extremos de lluvia en la Cuenca del Plata

En la región de la cuenca del Paraná en Brasil, Severo (1994) describió las características de los sistemas meteorológicos que afectan eventos extremos de lluvia en el sur de Brasil en el Valle del Río Itajaí, estado de Santa Catarina. Él estudió 21 casos de eventos extremos de lluvia, seleccionados a partir de datos diarios de lluvia en la cuenca y clasificó los eventos en 5 grandes grupos con características dinámicas y termodinámicas similares:

- Grupo 1: Sistema frontal estacionario en la región Sur con un vórtex sobre o Nordeste de Brasil
- Grupo 2: Vórtex en los niveles altos próximo a la región Sur
- Grupo 3: Jet de niveles bajos que transporta humedad de la Amazonia para el sur de Brasil
- Grupo 4: Difluencia del flujo zonal en niveles altos de la atmósfera
- Grupo 5: Sistema frontal retrocediendo a la región sur como un frente caliente

En todos estos grupos, la característica común en todos los casos analizados es un importante flujo de aire húmedo en niveles bajos que se tornó en una fuente de alimentación de convección de los sistemas frontales y de los frentes.



CIC

El conocimiento de estos ingredientes básicos puede llevar a métodos de predicción de lluvia, lo que es aplicado en las tareas operacionales de los centros meteorológicos de la región. Los factores que gobiernan la posibilidad de tener un evento intenso de lluvia pueden resumirse como: desplazamiento lento del sistema, tasa de precipitación intensa muy prolongada y gran área de cobertura de las tasas de precipitación intensa.

Carvalho et al. (2004) estudiaron eventos de precipitación intensa en el sudeste de Brasil (estado de Sao Paulo) asociados a los patrones convectivos de grande escala en la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS). Ellos analizaron las categorías de eventos extremos de lluvia de acuerdo con la actividad de la ZCAS. Un patrón alterno de anomalías de lluvia entre el Sur y el Sudeste de Brasil se debe al desplazamiento de la ZCAS. Se observó que cuando la actividad convectiva de la ZCAS es intensificada, se espera una disminución de la lluvia en la parte alta de la cuenca del Paraná-La Plata en el oeste de Argentina, Uruguay y el sur de Brasil. Liebmann et al (2004) analizaron relaciones entre los eventos extremos de lluvia en la región y la parte alta y media de la cuenca con la presencia del Jet de Bajos niveles al este de los Andes (SALLJ). El SALLJ corresponde al grupo 3 identificado por Severo. Eventos extremos de precipitación fueron definidos durante el periodo 1976-97 cuando la precipitación en cada estación pluviométrica es igual o mayor que el 10% de la media climatológica de verano (Diciembre-Febrero). Ellos identificaron que los casos de intensos eventos e SALLJ corresponden a los eventos lluvia intensa, como el mostrado en la Fig. 15.

Espirito Santo y Satyamurty (2002) identificaron eventos extremos de precipitación en la región Sudeste de Brasil durante 1997 a 2001, y encontraron que la mayoría de los casos ocurrieron entre la primavera y verano. Algunos de estos extremos estuvieron asociados a temperaturas de superficie del mar más altas en el litoral sur y sudeste de Brasil, bloqueos en el Atlántico Sur y la presencia de la ZCAS.



CIC

Otro de los sistemas que producen lluvia en la Cuenca Del Plata son los llamados Sistemas Convectivos de Mesoscala (SCM), y entre ellos lo Complejos Convectivos de Mesoescala – CCM's – que fueron definidos por Maddox (1980) como un sistema meteorológico que posee una espesa capa de nubes frías constituida por los topes de los cúmulos nimbus, con una forma aproximadamente circular (diámetro del orden de algunas centenas de kilómetros) y tiempo de vida relativamente más largo que el de un sistema convectivo aislado, o sea, mínimo de 6 horas. Velazco y Fritsch (1987) adaptaron la técnica objetiva de clasificación introducida por Maddox (1980) y mapearon las regiones de ocurrencia de CCMs en la América del Sur. Los CCMs son los responsables por una parte de la precipitación que ocurre en el sudeste de América del Sur y por la formación de tempestades severas en esta región (Fig. 16) Según Velazco y Fritsch (1987), el ciclo de vida de los CCMs sugiere que el horario de máxima intensidad ocurre de madrugada (en Paraguay o Argentina) en la mayoría de los casos observados, aunque estudios más recientes de Zipser y Mohr (1996) muestran que los SCSIs son mas intensos en los horarios próximos a la puesta del sol, y a lo largo del año son mas intensos entre la primavera y otoño con los máximos en verano siendo mas frecuentes en la cuenca del Plata en comparación con la Amazonía.

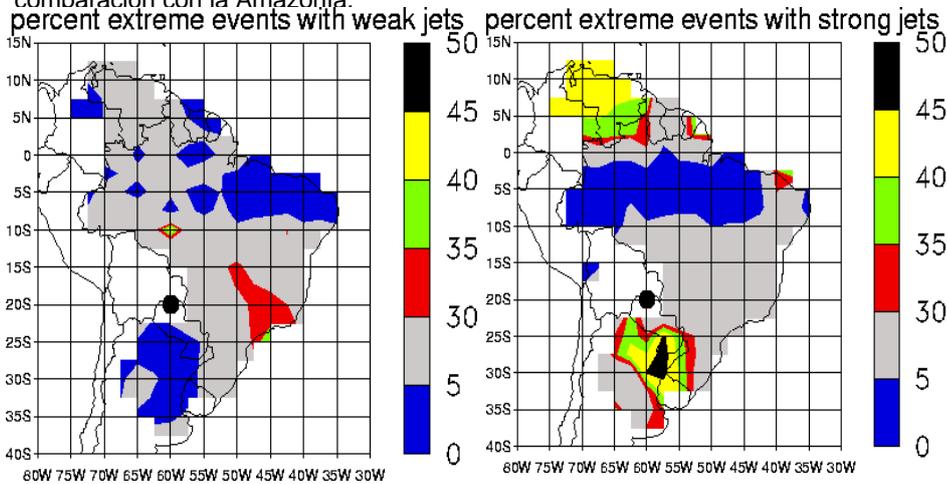


Figura 15: Porcentaje de eventos extremos de lluvia en el sudeste y sur de Brasil asociados a eventos de SALLJ intensos en 60°W, 20°S (circulo negro en el mapa). Líneas de contorno que muestran los porcentajes aparecen con intervalo de 5%.



CIC

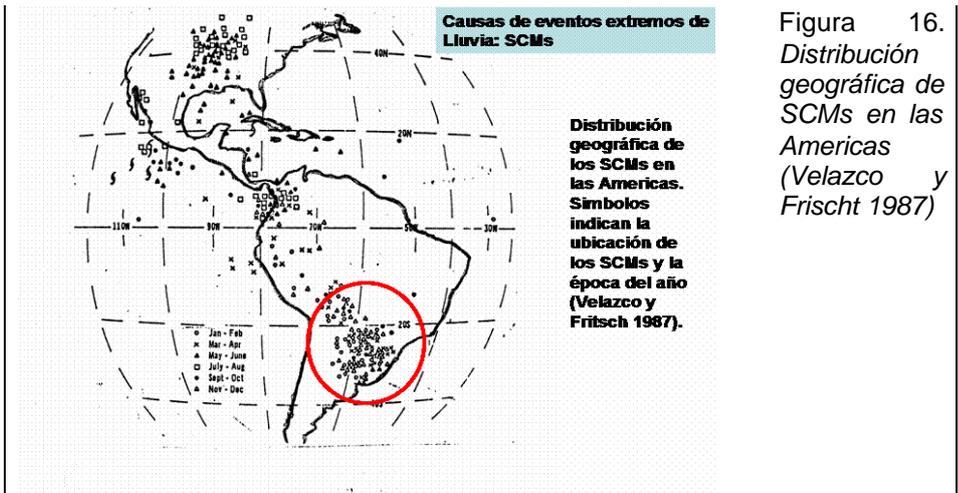


Figura 16.
 Distribución geográfica de SCMs en las Americas (Velazco y Frischt 1987)

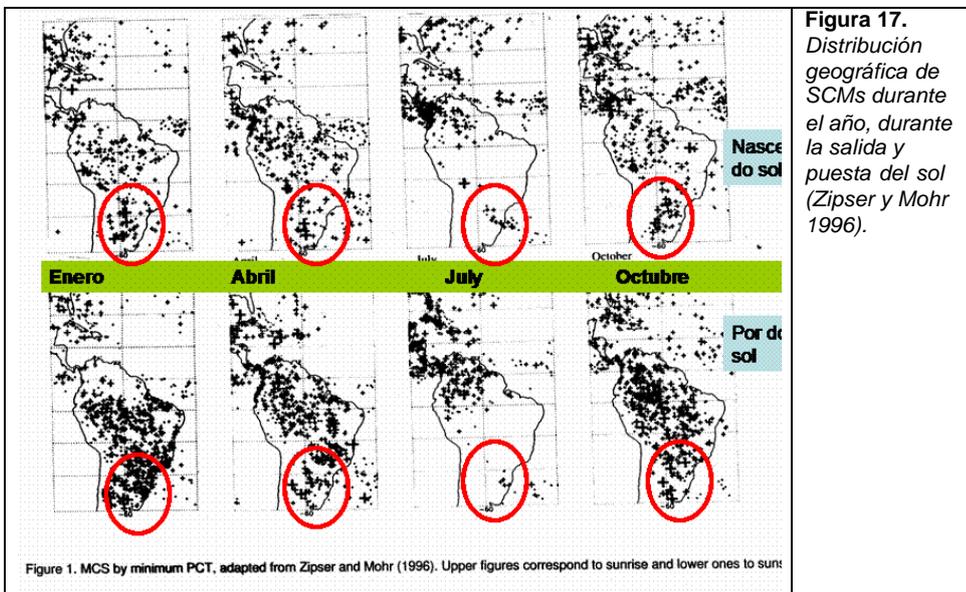


Figura 17.
 Distribución geográfica de SCMs durante el año, durante la salida y puesta del sol (Zipser y Mohr 1996).

5.1 Definición de eventos extremos de lluvia y EHE

Definir un evento extremo de lluvia intensa no es una tarea simple pues lleva en cuenta los aspectos relacionados a la cantidad de lluvia registrada en un determinado intervalo de tiempo y la cobertura espacial de lluvia. Un evento de lluvia intensa puede ser clasificada de diversas formas: climatológicamente según las estadísticas de lluvia, o con la necesidad de usuarios (agricultura, gerenciamiento urbano, etc.). Un evento extremo de lluvia puede ser definido climatológicamente como aquel que ocurre en uno de los extremos



de la distribución de frecuencia climatológica, y la elección de un valor límite puede ser arbitraria o hasta subjetiva.

Así, el problema fundamental es el de definir lo que es un evento extremo cuantitativamente y así se puede ver la posibilidad de predecir estos eventos en la modalidad de predicción de tiempo. Carvalho et al. (2002) por ejemplo definen eventos extremos de precipitación como aquellos que presentan 20% o más del total climatológico estacional para una estación en 24 horas. Chaves y Cavalcanti (2000) consideran eventos extremos aquellos con precipitación diaria superior al 300% de la media climatológica diaria y con una persistencia de 3 días. Severo (1994) define eventos extremos de lluvia como aquellos que producen inundaciones en la cuenca del Río Itajai con 50 mm mayor que la media diaria. Espírito Santo y Satyamurty (2002) adoptaron los límites de 1000 a 150 mm en 24 horas.

Teixeira (2004) estudia los eventos extremos de lluvia en el sur de Brasil. Eventos intensos fueron definidos usando estaciones meteorológicas con valores iguales o mayores a 50 mm. Los días en que se presentó una área finita de la isolinéa de 50 mm con un mínimo de 10,000 km² se definen como eventos intensos, y eventos extremos se definen como aquellos que presentaron lluvia igual o mayor que 100 mm en 24 horas y con una abrangencia especial mayor de 14,500 km².

La Tabla 2 (modificada de Texiera 2004) muestra los casos de eventos intensos y extremos definidos por él basados en la red hidrometeorológica de la Agencia Nacional de Aguas (ANA) de Brasil en el periodo 1991 a 2001. Se observa en todos los casos que las áreas significativas con lluvias mayores a 100 mm están generalmente incluidas en las grandes áreas mayores de 50 mm. Dado que este método fue definido para estaciones en la región, posiblemente requiera de algún ajuste para otras regiones del país.

Solamente 4 de los 17 casos extremos identificados ocurrieron en invierno, 11 de ellos ocurrieron en meses durante estaciones de transición (primavera y otoño), y solamente 2 en verano.

Tabla 2. Lista de eventos intensos extremos ocurridos en el sur de Brasil entre 1991 a 2001. P50 es la lluvia en el área de A50. A50 y A100 son las áreas de isoyetas de 50 y 100 mm respectivamente. En rojo aparecen eventos extremos durante invierno (Modificado de Teixeira 2004).

Evento	Día	P50 (mm)	A50 (km ²)	A100 (km ²)
1	12/04/1992	109.04	105,800	62,600
2	29/05/2002	107.01	142,400	61,100
3	01/10/2001	89.96	154,400	43,500
4	29/10/1997	95.68	153,900	43,300
5	20/06/1997	91.49	128,800	38,700
6	03/07/1999	96.12	123,200	31,700
7	28/04/1998	81.18	120,400	25,600
8	04/06/1993	83.44	113,700	23,700
9	01/06/2001	105.59	58,000	23,700
10	26/01/1996	95.13	86,100	19,600
11	12/04/1998	100.81	96,700	19,000
12	27/03/1992	94.60	63,700	17,800
13	05/10/1997	76.99	179,200	17,400
14	23/12/1997	93.43	69,000	16,700



CIC

15	13/05/1993	98.12	68,700	16,600
16	05/10/1995	77.58	65,100	14,900
17	18/04/1991	90.56	81,700	14,500

5.2 Variabilidad intra-estacional y eventos extremos de lluvia

Marton (2000) muestra que los episodios más intensos de lluvia están asociados a la coincidencia entre las fases favorables de intensificación de la convección en ciclos intraestacionales de 7-13, 15-30 y 30-60 días. Considerando que existe una relación entre bajos valores de radiación de onda larga (OLR) en el sudeste de Brasil (asociada a mayor precipitación), y subsidencia en el sur (asociada a menor precipitación), es posible que exista alguna relación entre episodios de precipitación organizada por la ZCAS y sequía en el subtropico de América del Sur.

Para el sur de Brasil y otros tramos en la parte superior de la cuenca del Río Uruguay no hay aún estudios detallados sobre la relación entre variaciones intraestacionales y eventos extremos de lluvia. Ferraz y Grimm (2001) realizaron un estudio de este tipo para el estado de São Paulo, y observaron modos de variabilidad intraestacional en verano (noviembre a marzo) para una región que comprende el sur y sudeste de Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. Ellas hicieron un análisis de componentes principales de los totales diarios de precipitación en el período de 1965 a 1990, filtrados en la banda de 10-100 días. El modo más importante de en esta banda tiene fuertes componentes sobre la ZCAS (modo ZCAS), con importantes contribuciones para la lluvia en el estado de São Paulo. Para verificar si este modo ZCAS realmente causa impactos en esta región, fue hecho un estudio complementario basado en datos de deslizamiento de tierras en este estado, que normalmente están asociados a eventos extremos de lluvia. Comparando las fechas de los eventos de lluvia extrema con las de ocurrencia de deslizamientos de tierra durante el verano, se observó que 66% de los deslizamientos estaban asociados a las fases extremas de este modo ZCAS.

5.3 Variación anual de los eventos de extremos de lluvia en la cuenca del Plata

El análisis de la Tabla 2 muestra que los eventos extremos aparecen más frecuentes e intensos en las estaciones de transición. Teixeira (2004) identifica 178 eventos entre 1991 a 2001 y hay indicaciones de que los eventos ocurren principalmente en primavera con el mes de octubre presentando el mayor número de casos seguido de abril. La Figura 16 muestra la frecuencia de días con eventos de SALLJ para Santa Cruz (Bolivia 17S) y Mariscal Estigarribia (Paraguay 23S). El panel de la izquierda presenta mayor frecuencia de SALLJ en los meses de verano (Noviembre-Febrero), y que aparecen asociados al SALLJ que transporta humedad desde la Amazonia hasta el sudeste de Brasil y Sur de Brasil-Norte de Argentina, en tanto que el panel de la derecha muestra los máximos entre Junio-Agosto y con un segundo máximo entre Setiembre-Diciembre. Este panel de la derecha muestra el impacto del transporte de humedad del Atlántico subtropical del Sur cuando el flujo de humedad de la Amazonia es reducido.

Comparando las Figuras 18 y 19 (parte inferior) se puede sugerir que si se considera al SALLJ como fuente de humedad, la mejor asociación entre SALLJ más frecuentes y frecuencia de lluvias extremas se presenta en la primavera, y con menor frecuencia en los meses de verano, pero que representa un porcentaje significativo para producir eventos extremos en el sudeste de Brasil en verano, como sugerido por Liebmann et al (2004).



CIC

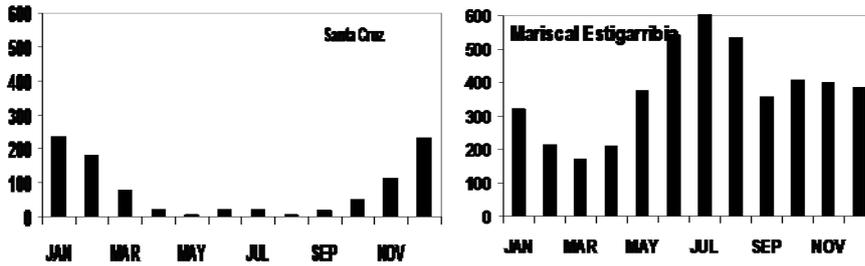


Figura 18. Ciclo anual de la frecuencia de eventos de SALLJ en Santa Cruz (17S) y Mariscal Estigarribia (23S) [modificado de Marengo et al. (2004)]

5.4 Variabilidad interanual de eventos extremos de lluvia en la cuenca del Plata

La Figura 19 (parte superior) muestra la variabilidad interanual de los 170 eventos extremos de lluvia identificados por Teixeira (1994) para el sur de Brasil. Se observa una leve tendencia de disminución del número de eventos extremos de lluvia, con valores más altos entre 1993-94 y 1997-98. Este último fue un año de fenómeno El Niño muy intenso. La figura también muestra que en 1996 y 1999-2000 el número de eventos extremos de lluvia fue más bajo siendo que estos fueron años de La Niña. Sin embargo, la correlación entre el número de eventos extremos de lluvia y las anomalías de temperatura de superficie del mar (TSM) en el Pacífico Ecuatorial, indicativo de El Niño, es baja, similar a la correlación entre la frecuencia de eventos de SALLJ y estas anomalías de TSM en el Pacífico Ecuatorial (Figura 20).



CIC

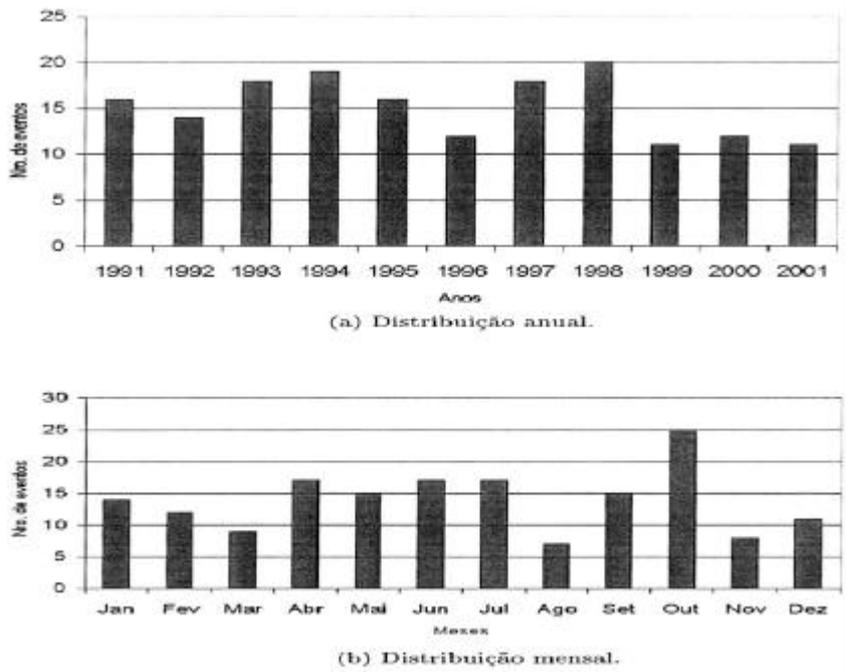


Figura 19. Variabilidad interanual do numero de eventos extremos de lluvia en el sur de Brasil (panel superior) y ciclo anual del numero de eventos extremos de lluvia (panel superior). Fuente: Teixeira (2004).

La señal de El Niño en lluvia sobre el sur de Brasil es mas débil en verano que en la primavera, y exhibe considerable variabilidad espacial (Pisciottano et al. 1994, Grimm et al. 2000, Cazes et al. 2003). Aceituno (1988) encontró señales de aumento de lluvia en la región de Argentina subtropical durante años de El Niño especialmente en Noviembre-Diciembre, y aunque las asociaciones sean estadísticamente significativas, El Niño no explica más del 30% de la variancia de lluvia en estas regiones.



CIC

Numero d eventos extremos de lluvia sur de Brasil vs anomalias de TSM en el Pacifico Central (Diciembre)

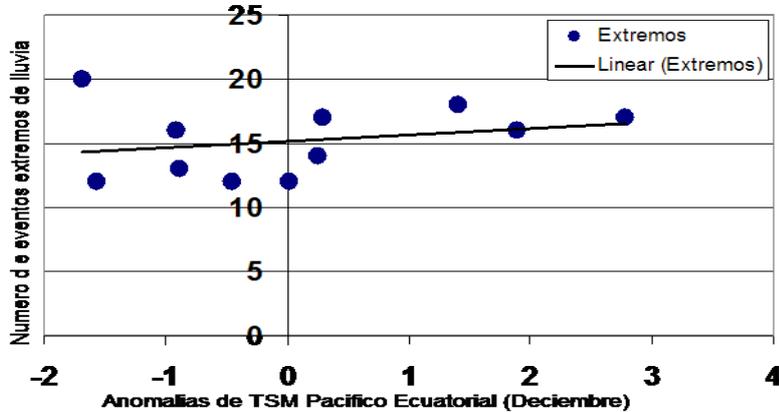


Figura 20. Ocurrencia de eventos extremos de lluvia en el sur de Brasil (Según Teixeira 2004) durante el periodo 1991-2001.

Las asociaciones entre El Niño, La Niña para la región de noreste de Argentina y Uruguay son diferentes en el verano y primavera. Ropelewski y Halpert (1987; 1989) identificaron en estas regiones lluvias mas abundantes durante la primavera del año anterior al pico de El Niño mientras que el verano del año pico de El Niño hay una tendencia para lluvias más deficientes. Ellos también muestran cambios en la distribución de precipitación más que en la media lo que podría estar relacionado a cambios en la frecuencia de eventos extremos esporádicos de lluvia.

Grimm y Pscheidt (2001) explican que en el Sur de Brasil durante años de El Niño (La Niña) se observa un gran aumento (disminución) de eventos severos o extremos de lluvia en Noviembre comparado con años normales. En el período analizado por ellos (1963-92) ocurrieron 9 eventos El Niño y 6 de La Niña, y 15 fueron años normales. Se observaron 36 eventos extremos durante el mes de noviembre en años de El Niño, 3 durante años de La Niña y 23 en años normales. Ellos concluyen que hay un gran aumento en la frecuencia de eventos extremos durante años El Niño durante 1963-92.

Eventos intensos de lluvia en el otoño pueden ser responsables por los valores muy altos de descargas en el Río Paraná en territorio Argentino (Camilloni and Barros, 2003). Barros et al. (1994) verificaron en un análisis de las series del Paraná en 1900 a 1992 que inundaciones ocurrieron con mayor frecuencia y fueron mayores en la década 1982-92 en comparación con el inicio del siglo, y que los cambios en la variación intra anual de descargas puede ser explicada en términos de cambios de la distribución intra anual de precipitación asociada a la operación de los reservorios en el sistema Paraná que demoran en la propagación de las inundaciones.

En el trabajo de Camilloni y Barros (2003) sobre el río Paraná se muestra que las dos terceras partes de los picos máximos (y de las mayores contribuciones desde la zona central de la alta cuenca del Paraná) ocurrieron durante eventos El Niño, y que ninguno ocurrió durante la fase La Niña. Esos picos máximos se produjeron en primavera 0 o en otoño +. De ellos, los mayores tuvieron lugar durante la última estación, con anomalías de SST en El



CIC

Niño 3 persistiendo hasta mayo +. Además, cuando las anomalías en El Niño 3 persistieron hasta otoño +, hubo descargas importantes en el Paraná. La tercera parte restante de los picos máximos ocurrieron durante la primavera o el verano de períodos neutros.

En el caso del río Uruguay, Camilloni y Caffera (2003) explican que su cuenca es parte de una región que tiene una fuerte señal de precipitación durante la fase cálida del ENSO, cuando se producen, en general, los mayores caudales mensuales, asociados la mayoría de las veces a picos diarios extremos. Ellos establecen que las anomalías más intensas de descargas mensuales ocurren mayormente durante las fases cálidas de El Niño, que parecen inducir grandes anomalías positivas de lluvias en la región.

Barros et al. (2004) muestran que las dos terceras partes de los picos máximos del río Paraguay en Asunción se dan en la fase cálida del ENSO, y que la señal de El Niño es particularmente clara para los picos que ocurren en el otoño +. La tercera parte restante de los picos máximos ocurren indistintamente durante fases La Niña o neutra. En estos casos se observa un patrón meteorológico medio consistente desde abril hasta agosto que, quizás, permitiría un pronóstico de precipitaciones.

La cuenca del Río de la Plata es una de las regiones con frecuentes complejos convectivos de mesoescala (CCM), como identificado inicialmente por Velazco y Fritsch (1987). Estos sistemas son más frecuentes en el otoño y son responsables por grande parte del total de lluvias. Al sur de 20°S, la frecuencia de CCM varía entre 20 a 50%, aumentando durante los años de El Niño. Sin embargo, su localización y trayectoria varía de un El Niño para otro. La importancia de los CCM, como eventos esporádicos, en la precipitación mensual y estacional es una de las razones de un skill bajouna baja habilidad de los modelos oceánicos y atmosféricos para la predicción estacional de lluvia sobre el norte de Argentina y Uruguay. Ésta permanece como una de las limitaciones en la naturaleza intrínseca de lo que podría ser un sistema no previsible.

Liebmann et al. (2004) mostró que en São Paulo y en la escala interanual, el número de eventos diarios extremos de lluvia tiene una correlación con las anomalías de TSM en el Pacífico Central y el Atlántico sudoeste, próximo a la costa de São Paulo. El control de la ZCAS en la escala interanual también se muestra bien evidente en Liebmann et al, y por lo tanto se establece nuevamente una posible interacción entre los eventos extremos de precipitación y la coincidencia de las fases favorables de la variabilidad interanual intraestacional.

6. Aspectos meteorológicos de eventos extremos de lluvia en la cuenca del Río de la Plata

Según estudios de eventos extremos de lluvia en el sur y sudeste de Brasil discutidos por Severo (1994), Carvalho et al (2004), Espirito Santo y Satyamurty (2002), Teixeira (2004), la posibilidad de un evento de lluvia intensa en estas regiones es precedida por los siguientes patrones meteorológicos, en orden de importancia:

- 1- Fuerte circulación del norte (Amazonia) que llega por Paraguay y Noreste de Argentina, especialmente en el verano (SALLJ más intensos en el verano)
- 2- Vaguada en la troposfera media que advecta vorticidad negativa y que conduce a una baja de la presión en superficie, a lo largo de todo el año
- 3- Convergencia de flujo de humedad en la troposfera baja sobre la región sur de Brasil y el nordeste de Argentina, en todas las estaciones del año pero más frecuentemente en el verano
- 4- Formación o identificación de un centro de baja presión o vaguada en superficie sobre el norte de Argentina y Paraguay, en todas las estaciones del año

4. Tema 3



5- Intensificación del jet de altos niveles a lo largo de la región sur, especialmente en invierno.

Los patrones meteorológicos que sirven como indicadores de la ocurrencia de eventos extremos de lluvia en el sur de Brasil son:

- 1- La advección de aire cálido sobre la región sur de Brasil y nordeste de Argentina
- 2- La presencia de una cresta en el campo de temperatura potencial equivalente al oeste de la región sur de Brasil, favoreciendo la formación de células convectivas pues el calor y la humedad están presentes en mayor cantidad.
- 3- La presencia de una cresta en el campo de altura neopotencial en 500 hPa en la primavera y verano próximo a la región sur en el día de lluvia

Estas configuraciones de patrones meteorológicos así como la cuantificación de la influencia de estos campos en las lluvias intensas pueden ayudar a los meteorólogos operacionales como herramientas para el diagnóstico de situaciones favorables a la ocurrencia de lluvias extremas en el sur de Brasil.

La Tabla 3 presentada por Teixeira (2004) muestra la antecedencia con la que los parámetros meteorológicos indican la ocurrencia de lluvias extremas en la región sur de Brasil.

Tabla 3. Antecedencia (en días) de las influencias significativas de los parámetros meteorológicos en eventos de lluvia extrema en el sur de Brasil, para las 4 estaciones del año.

Estación	v850	Z850	Conv8540	PMNM	U250
DJF	4	3	3	4	2
MAM	2	5	2	2	1
JJA	3	5	2	2	1
SON	3	2	2	1	1

Los patrones observados de altura geopotencial (relacionados a la distribución de la presión atmosférica) más recurrentes en los eventos extremos de lluvia, y que son responsables por más del 90% de la variancia de lluvia, no difieren mucho durante eventos El Niño, La Niña y años normales, indicando que las condiciones favorables para eventos extremos son generalmente las mismas. Las diferencias ocurren en los modos secundarios de variabilidad. Eventos extremos de lluvia ocurren con más (menos) frecuencia en años El Niño (La Niña) debido a la semejanza (diferencia) entre estos patrones y las anomalías de circulación más consistentes durante años El Niño (La Niña) sobre el Cono Sur de América del Sur. Con estos resultados, Grimm y Sant’Anna (2001) concluyen que en eventos El Niño hay un aumento en la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de lluvia en la parte superior de la cuenca del Río Uruguay.

6.1 Relaciones entre precipitaciones y los EHE

Camilloni y Barros (2003) estudiaron la relación entre las precipitaciones y las crecidas extremas del río Paraná. Ellos determinaron que los picos extremos en la estación Corrientes se originan usualmente en las zonas central y sur de la cuenca alta del Paraná (figura 19), especialmente en la zona central. Además, establecieron que la contribución de la zona norte de la cuenca alta del Paraná no sólo es generalmente pequeña, sino que, a veces, es negativa.

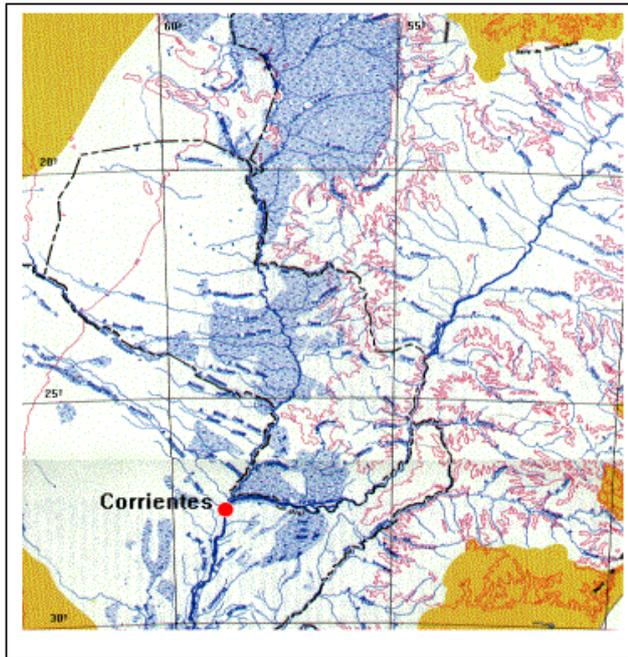


CIC

Un estudio similar para el río Uruguay (figura 22) fue llevado a cabo por Camilloni y Caffera (2003). De él surge que los caudales extremos diarios durante la estación cálida están relacionados a lluvias intensas en la cuenca superior, particularmente en el período de 9 a 12 días antes de que se produzca el máximo de caudal en la estación Salto Grande. En cambio, los caudales extremos diarios durante la estación fría se deben mayormente a grandes lluvias sobre y aguas arriba de Salto Grande en dos períodos separados: de 9 a 12 y de 1 a 4 días antes de la fecha del pico de caudal en la estación Salto Grande. A partir de estas observaciones surge que es posible el pronóstico hidrológico para la estación cálida, pero, en cambio, se necesitan pronósticos meteorológicos para la estación fría.

Un resultado adicional interesante del estudio de Camilloni y Caffera (2003) es que alrededor del 50% de las mayores crecidas del río Uruguay pueden ser el resultado del incremento de precipitación debido a la convergencia de flujos de humedad en la región del SALLJ. Además, ellos observan que la frecuencia de ocurrencia del SALLJ que provocan crecidas es algo mayor en la estación fría que en la cálida.

Para el río Paraguay, Barros et al. (2004) establecieron que el origen de los mayores picos de crecida son la cuenca alta y media del río Paraguay (figura 23), y que su ocurrencia no depende del volumen de agua almacenado en el Pantanal. Adicionalmente, verificaron que el aporte del Pantanal no correlaciona apreciablemente con la contribución de las cuencas alta y media. Ellos explican que la situación es distinta para las crecidas anuales ordinarias, ya que el pico anual de junio se produce por el lento aporte del Pantanal, cargado con las precipitaciones del verano, más el aporte de la cuenca alta y media del propio Río Paraguay por las precipitaciones de otoño. Además, la disminución de caudal de junio a febrero se debe, en invierno, a la poca precipitación y, en primavera y verano, a la gran evaporación.





CIC

Figura 21 Cuenca alta del río Paraná

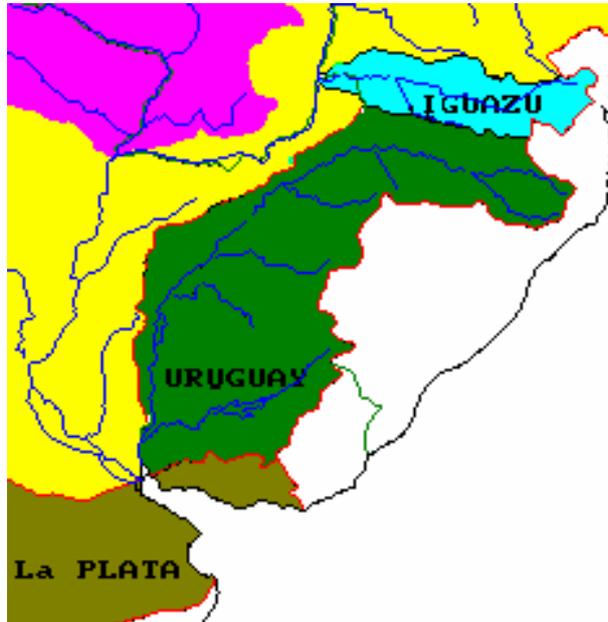


Figura 22. Cuenca del río Uruguay



CIC

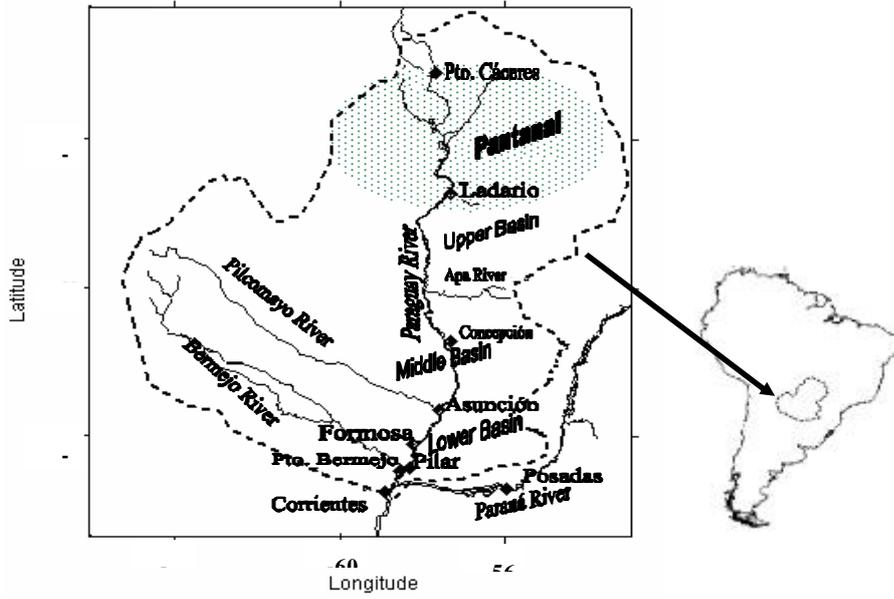


Figura 23. Subcuenca del río Paraguay (Barros et al. 2004)



CIC

6.2 Caudales extremos de los ríos Paraná y Uruguay

En la figura 24 se muestran los máximos, mínimos y medios anuales de los caudales diarios del río Paraná en la sección Paraná-Santa Fe para prácticamente todo el siglo XX, en base a los datos provistos por el Sistema de Información y Alerta Hidrológico del INA. La figura es elocuente en cuanto al cambio de tendencia que se manifiesta desde principios de la década del 70:

- El caudal medio se ha incrementado significativamente desde la década del 70. Si se compara el promedio sobre el período 1902-1970 con el del período 1980-2000, ese incremento ha sido del 37%.
- Los máximos anuales son mayores desde la década del 70. Además, ha aumentado la frecuencia de las crecidas extraordinarias. De las 5 mayores crecidas registradas (1905, 1966, 1983, 1992, 1998), 4 se produjeron dentro de las últimas 4 décadas.
- Los mínimos anuales también muestran un incremento desde la década del 70.

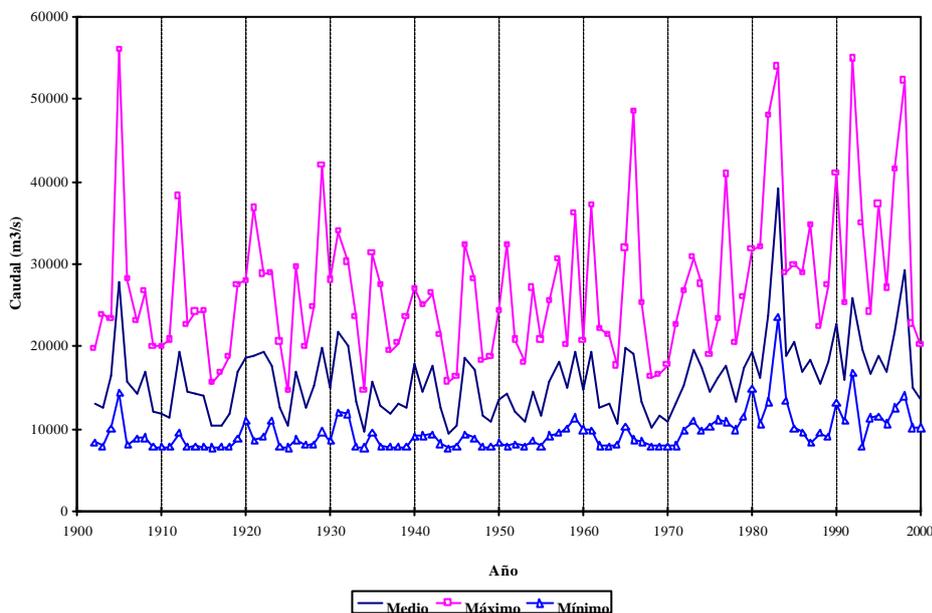


Figura 24 Máximos, mínimos y medios anuales de los caudales diarios del río Paraná en la sección Paraná-Santa Fe para el período 1902-2000

El cambio de tendencia desde principios de la década del 70 fue claramente establecido por García y Vargas (1998) en base a datos de caudales medios mensuales en estaciones ubicadas desde Corrientes hacia aguas arriba, analizando el período 1901-1992. Esto fue posteriormente corroborado por Jaime y Menéndez utilizando caudales medios mensuales en el período 1931-2001 para la sección Paraná-Santa Fe. El aumento de los caudales medios significa, lisa y llanamente, que hay mayor escorrentía en la cuenca alta del Paraná, donde se producen las precipitaciones que alimentan al río. Este aumento de la escorrentía debe estar ligado al incremento de las precipitaciones medias y al cambio en el uso del



suelo. El aumento de la frecuencia de las grandes crecidas indica cambios en las condiciones climáticas que favorecen la generación de tormentas extraordinarias. El incremento de los caudales mínimos debe estar al menos parcialmente ligado a la regulación impuesta por la cadena de embalses brasileños. En la tabla 4 se presenta una lista de las 10 mayores crecidas y bajantes registradas en ese período, en función de su caudal pico diario. Se observa que el 80% de los máximos se da desde 1966 en adelante, mientras que la totalidad de los mínimos es anterior a 1950.

Tabla 4 Ranking de crecidas y bajantes extremas anuales del río Paran en base a sus caudales pico diarios

Crecidas		Bajantes	
<i>Año</i>	<i>Caudal (m³/s)</i>	<i>Año</i>	<i>Caudal (m³/s)</i>
1905	56025	1944	7703
1992	54925	1916	7756
1983	53992	1925	7765
1998	52308	1934	7765
1966	48602	1911	7774
1982	48025	1924	7783
1929	41964	1938	7783
1997	41570	1949	7783
1990	41048	1910	7792
1977	40918	1913	7801

Las figuras 25 y 26 muestran los mínimos y máximos anuales de los caudales medios mensuales del río Paraná, en la sección Paraná-Santa Fe, y del río Uruguay, en Concordia, para el período 1931-2001, en base a los datos provistos por el Sistema de Información y Alerta Hidrológico del INA. Las tendencias observadas en la primera de ellas son, obviamente, compatibles con las discutidas en relación a la figura 24. Para el río Uruguay (figura 26) el aumento del caudal medio es similar al del Paraná (Jaime y Menéndez 2002), aunque la variabilidad de su régimen hace menos notoria esta tendencia a simple vista. En el caso del río Paraná el aumento relativo medio de los caudales mínimos y máximos es similar al del caudal medio, indicando un aumento en la amplitud (es decir, mayor variabilidad), mientras que para el río Uruguay esa amplitud ha permanecido prácticamente invariable (Jaime y Menéndez 2002).



CIC

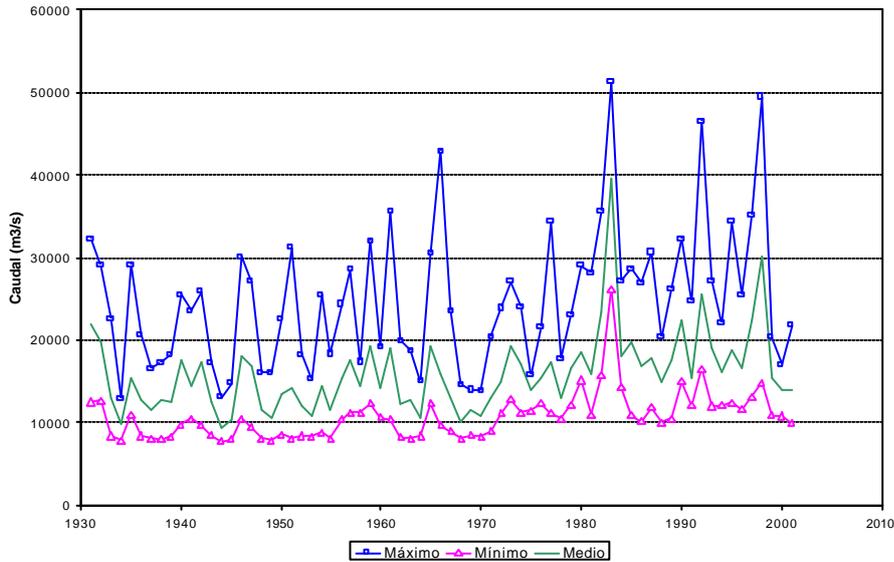


Figura 25 Máximos, mínimos y medios anuales de los caudales medios mensuales del río Paraná en la sección Paraná-Santa Fe para el período 1931-2001

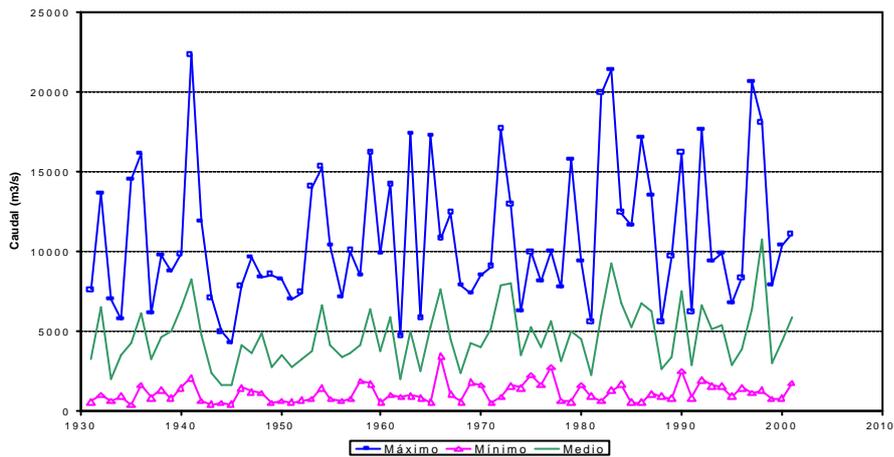


Figura 26 Máximos, mínimos y medios anuales de los caudales medios mensuales del río Uruguay en Concordia para el período 1931-2001

En las figuras 27 y 28 se muestran los espectros de potencia de las series de caudales medios mensuales de los ríos Paraná y Uruguay, respectivamente (Jaime y Menéndez 2002). Se observa que en el río Paraná se han activado notoriamente las componentes de alrededor de 8 años de período desde principios de la década del 70, que es justamente el tiempo medio entre picos notorios (ver Figura 24): 1966, 1977, 1983, 1992, 1998. En el río Uruguay se observan picos notorios en 1938, 1943, 1955, 1966, 1977, 1983, 1992, 1998.

4. Tema 3



CIC

Uruguay, en cambio, se han activado las componentes de alrededor de 4 años de período, aunque en forma mucho menos marcada. Nótese que se trata de períodos compatibles con los asociados al fenómeno del El Niño.

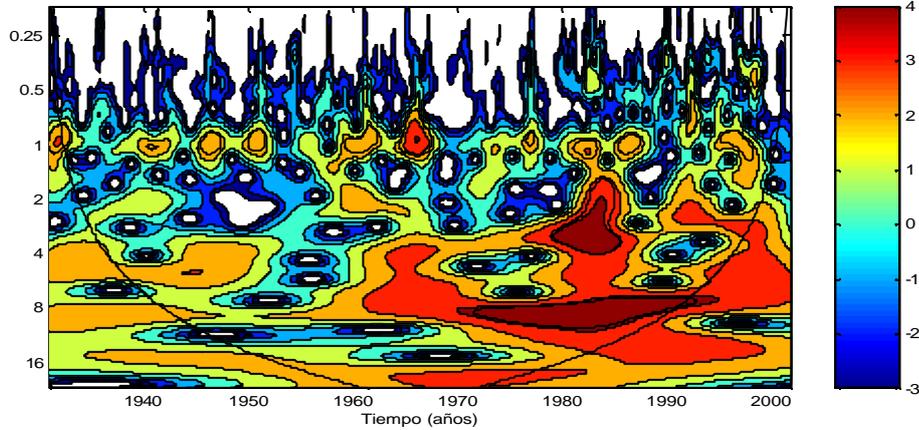


Figura 27 Espectro de potencia del río Paraná para el período 1931-2001

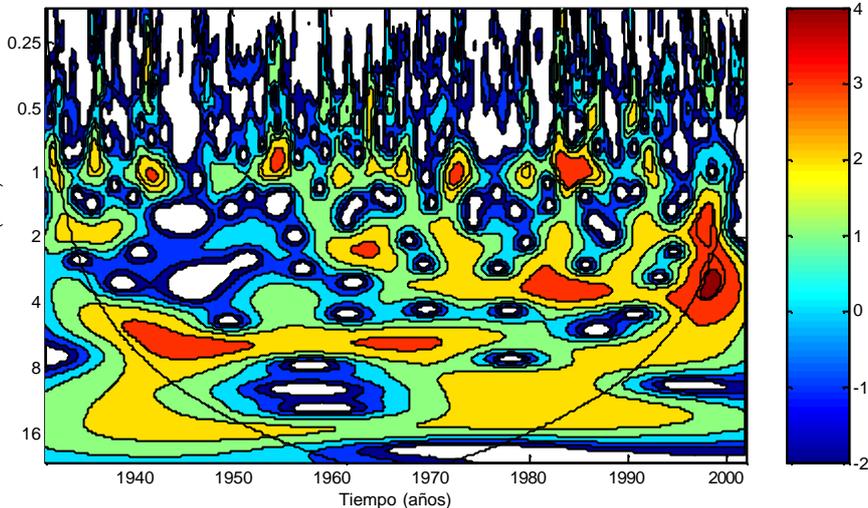


Figura 28 Espectro de potencia del río Uruguay para el período 1931-2001

6.3 Intensidades de los EHE del Paraná y el Uruguay

Para caracterizar la intensidad de los EHE de los ríos Paraná y Uruguay, Jaime y Menéndez (2002) establecieron como criterio tomar el caudal (medio mensual) de exceso

4. Tema 3



(para crecidas) o defecto (para bajantes) respecto de sendos umbrales de aguas altas y aguas bajas, respectivamente. Para definir estos umbrales se efectuó un análisis de frecuencia de ocurrencia de eventos extremos y se eligieron los correspondientes a una recurrencia de 4 años, representativa de la periodicidad de El Niño. Pero en el análisis se distinguieron los tres periodos hidrológicos identificados por García y Vargas (1998): medio (hasta 1943), seco (hasta 1970) y húmedo (hasta 2001), de modo que los valores umbrales resultan distintos para cada uno de ellos. Estos valores se muestran en la tabla 5 (Jaime y Menéndez 2002).

Tabla 5 Umbrales de eventos de crecidas y bajantes para los ríos Paraná y Uruguay

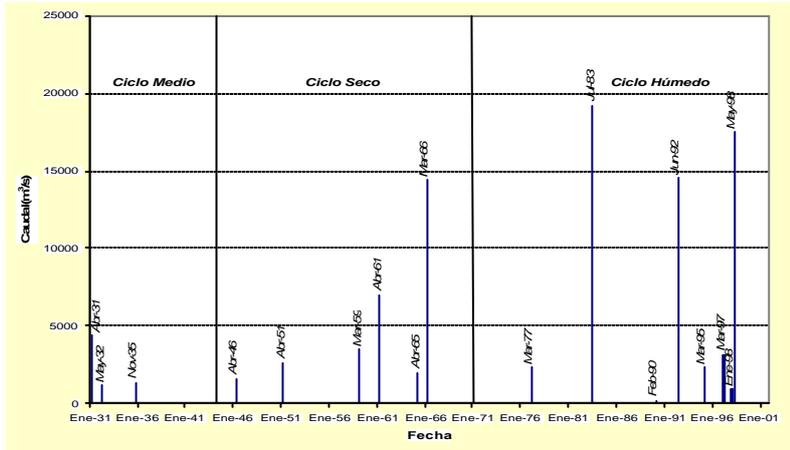
Río	Umbral	1931-43	1944-70	1970-2001
Paraná	Crecidas	27800	28500	32000
Paraná	Bajantes	8200	8250	11000
Uruguay	Crecidas	13700	12000	17300
Uruguay	Bajantes	600	600	850

En las figuras 29 y 30 se presentan los resultados para los ríos Paraná y Uruguay, respectivamente, identificándose el mes de ocurrencia. Para el río Paraná (figura 29) se observa que de 1970 en adelante no sólo se han producido las mayores crecidas sino también las bajantes relativamente más intensas, lo que está en relación con el aumento de la variabilidad apuntada en la sección anterior. Para este período, la intensidad de las mayores crecidas del Paraná se encuentra entre 15 y 20 mil m³/s mientras que la de las bajantes están entre 500 y 1000 m³/s, con un pico singular de 2000 m³/s en diciembre de 1971.

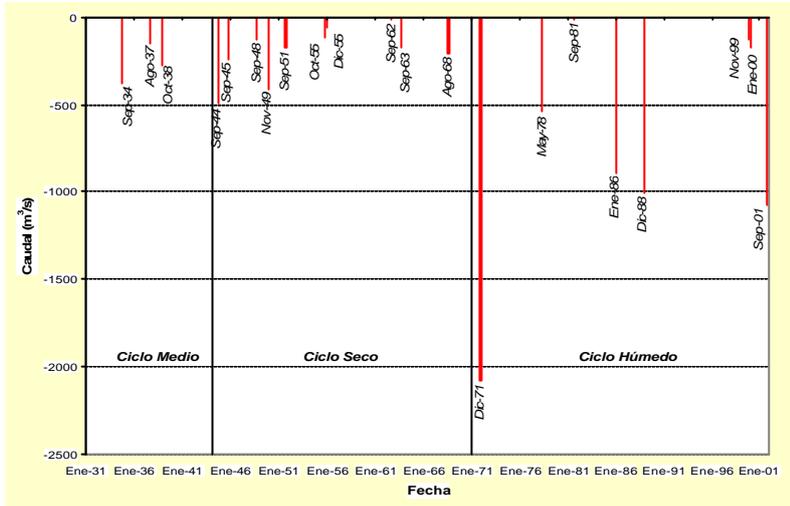
En el caso del río Uruguay (figura 30), en cambio, no se notan cambios tan significativos en la intensidad de los EHE. Con excepción del pico de mayo de 1941, que superó los 8000 m³/s, la intensidad de las mayores crecidas se encuentra en el rango de 3000 a 5000 m³/s, observándose incluso una leve disminución para el período posterior a 1970 respecto de lo registrado desde alrededor de 1950 hasta entonces. Las bajantes más intensas del período posterior a 1970 sí muestran un incremento notable respecto del período inmediatamente anterior, aunque con valores similares (aunque mayores) a las registradas hasta alrededor de 1950. El rango de intensidad de las bajantes actuales se encuentra en el rango de 200 a 300 m³/s, observándose, como en el Paraná, un pico en diciembre de 1971, que llegó a más de 350 m³/s.



CIC



(a) Crecientes

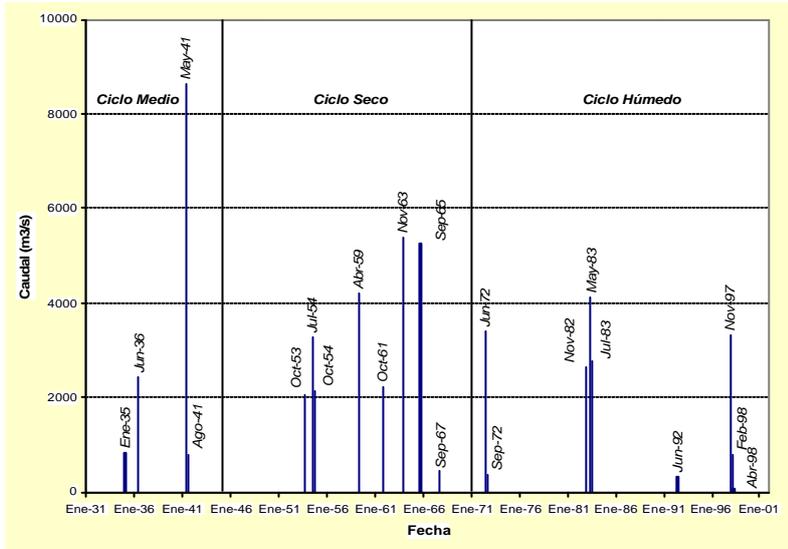


(b) Bajantes

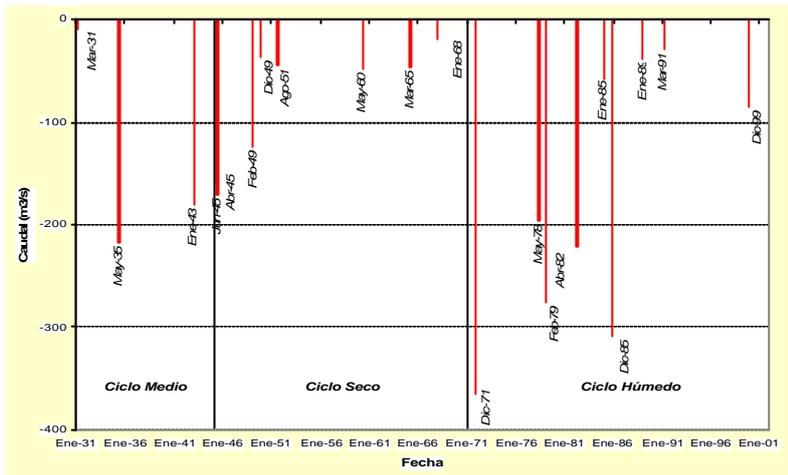
Figura 29 Intensidad de EHE para el río Paraná en el período 1931-2001



CIC



(a) Crecientes



(b) Bajantes

Figura 30 Intensidad de EHE para el río Uruguay en el período 1931-2001

6.4. Crecidas Más Importantes

Desde fines del siglo pasado ocurrieron una cantidad de eventos importantes. En la Tabla 6 se muestran los diez episodios más extremos, en cuanto a caudal pico, en cuatro sitios. De esta información, surge que sobre el río Paraná y el río Paraguay, la mayor parte



CIC

de los eventos más importantes ocurrieron a partir de 1965 y en cuanto al río Uruguay, cuatro de los eventos más importantes desde 1898 ocurrieron a partir de 1972.

Tabla 6 – Ordenamiento de los caudales pico en tres sitios en la cuenca del Plata.

Río Paraná en Posadas 1901-1993			Río Paraguay en Puerto Bermejo 1910 - 1993			Río Paraná en Corrientes 1904 - 1993		
Año(1)	Mes	m ³ /s	Año(1)	Mes	m ³ /s	Año(1)	Mes	m ³ /s
1904/5	Ma	53.200	1982/3	Jun	10.600	1982/3	Jul	60.200
1982/3	Jul	50.900	1991/2	Jun	9.200	1991/2	Jun	54.000
1991/2	Jun	48.800	1987/8	Ago	8.600	1904/5	Jun	50.000
1989/90	Ene	42.800	1965/6	Mar	8.400	1989/90	Feb	43.800
1986/7	May	38.800	1992/3	Nov	8.400	1965/6	Mar	43.800
1935/6	Jun	38.800	1981/2	Ago	8.200	1928/9	Mar	39.100
1965/6	Feb	37.900	1988/9	Set	8.100	1911/12	Ene	39.000
1922/3	Jun	37.700	1939/40	Jun	8.000	1986/7	May	38.000
1928/9	Mar	36.000	1911/12	Ene	8.000	1981/2	Jul	38.000
1983/4	Set	32.700	1978/79	Jun	8.000	1922/3	Jun	38.100

Existen referencias sobre crecidas extraordinarias ocurridas en Corrientes en 1612 y 1748, mientras que la disponibilidad de datos en cuanto a niveles fluviales del siglo XIX permite realizar estimaciones del caudal asociado a las crecidas notables del 1812, 1858 y 1878. (Tabla 7).

Tabla 7. Río Paraná el Corrientes: ordenamiento de los seis caudales extremos más importantes entre 1800 a 1993.

Año	Caudal m ³ /s
1983	60.200
1812	58.000
1992	54.000
1858	52.000
1878	51.000
1905	50.000

Los eventos 1905/06, 1989/90 y 1991/2 representan episodios de inundación más típicos sobre el río Paraná y tienen mucho en común; en especial las inundaciones de 1905/6 y 1991/2. Una característica particular - y llamativa para una cuenca tan grande - es la rapidez con que el hidrograma crece en cada uno de estos eventos. En las dos semanas anteriores al arribo del pico a Comentes, la tasa de crecimiento de los tres eventos es casi idéntica (1.400 m³/s por día). Los hidrogramas son notablemente simples en cuanto a la forma; sólo el correspondiente al episodio de 1992 presenta aportes diferenciables de distintas subcuencas de aguas arriba.

6.5 Tributarios de los grandes ríos



CIC

Como complemento al análisis efectuado para los grandes ríos de la Cuenca del Plata, se presenta y analiza a continuación datos correspondientes a tributarios que, si bien son menores en relación a aquellos, constituyen de todos modos cursos de agua de relativa envergadura en términos regionales.

6.5.1 Arroyo Batel

El arroyo Batel desagua a los esteros del Batel-Batelito, en la provincia de Corrientes, Argentina, descargando sus aguas al río Corrientes (desagote de los esteros del Iberá) el que, a su vez, desemboca en el río Paraná (figura 31).

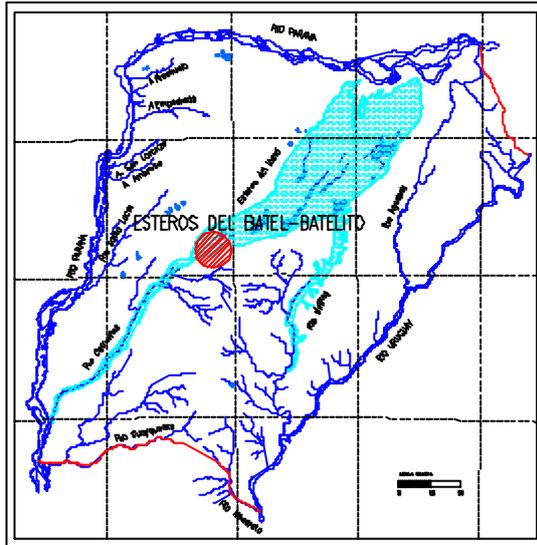


Figura 31 Ubicación de los esteros del Batel-Batelito

En la figura 32 se muestran datos de aforos en Paso San Cerrito, provistos por EVARSA S.A.. La serie arranca en noviembre de 1976 y, con una frecuencia variable (desde bimensual hasta menos que semanal) y algunos baches importantes, llega hasta mayo de 2003. Se destaca el pico extraordinario de 734 m³/s, aforado el 21/Abr/98, en correspondencia con el intenso fenómeno de El Niño. La figura 33 presenta los registros pluviométricos de la estancia Rincón de Luna, tomados como representativos de la precipitación regional. Se trata de datos mensuales, con inicio en mayo de 1930 y que, con algunos baches, se extienden hasta diciembre de 2002. A simple vista se observa que tanto el valor medio como la variabilidad (amplitud de la variación alrededor del valor medio) son mayores en las últimas décadas. También se destaca nítidamente el pico extraordinario de 580 mm correspondiente a abril de 1998.



CIC

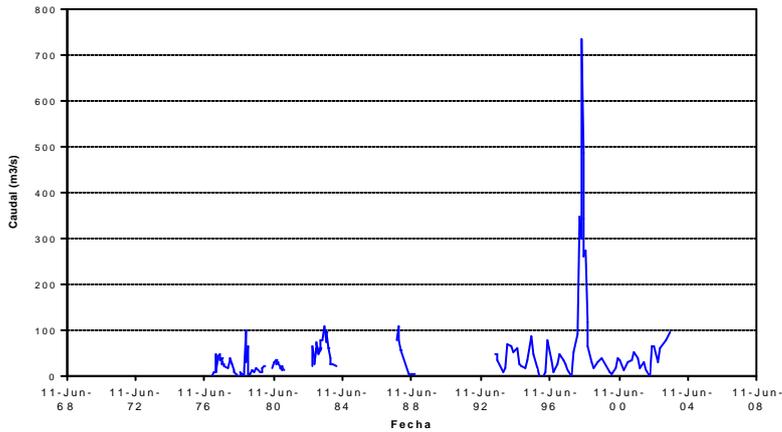


Figura 32 Serie de aforos del arroyo Batel

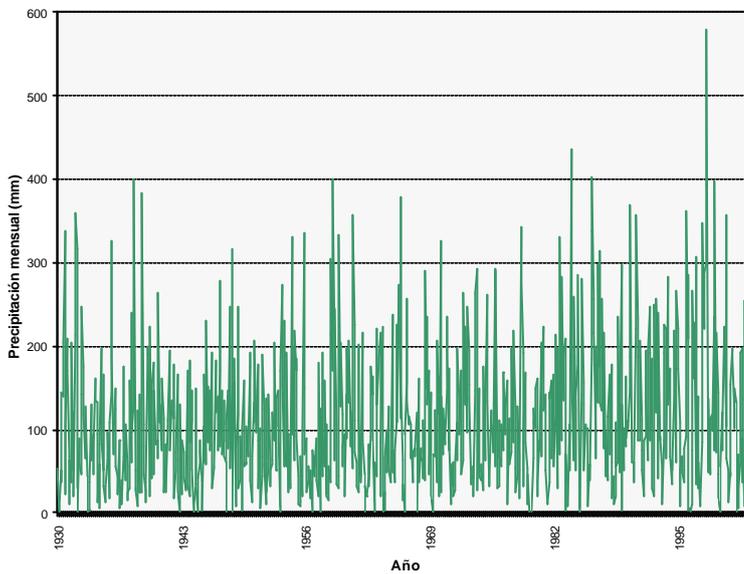


Figura 33 Serie de precipitaciones mensuales en la estancia Rincón de Luna

El aumento del valor medio se distingue más claramente en la figura 34, que muestra la serie de valores anuales de precipitación. Allí también se han indicado los valores medios sobre los periodos 1931-1970 y 1980-2002, dejándose la década del 70 como intervalo de transición (se descartaron los años 1930 y 1979 por carecer de la mitad de los registros mensuales). Esos valores son los siguientes:

Precipitación media anual 1931-1970.....1190 mm



CIC

Precipitación media anual 1980-2002.....1530 mm
 Diferencia..... 340 mm

Se observa, entonces, que ha habido un incremento de 340 mm anuales en las últimas dos décadas en relación al resto del siglo, es decir *un aumento de casi el 30% en las precipitaciones medias anuales*. Es interesante destacar que, si se supone que los 340 mm anuales de precipitación en exceso son representativos de toda la cuenca del Batel-Batelito (de 5000 km² de extensión), ellos indican un volumen de precipitación en exceso de 1700 hm³ anuales. Si ese volumen extra escurriera totalmente, representaría un caudal medio anual extra de 54 m³/s.

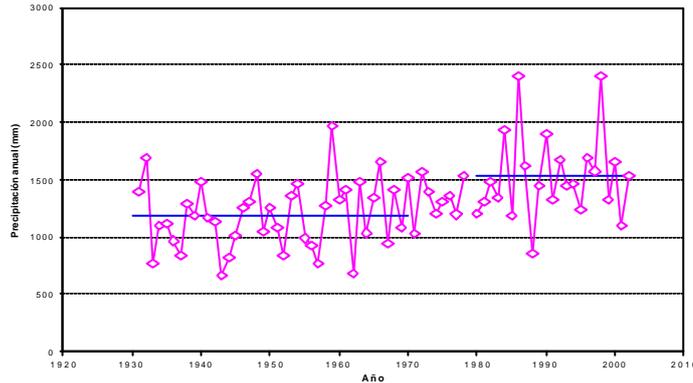


Figura 34. Serie de precipitaciones anuales en la estancia Rincón de Luna

Por su parte, la variabilidad, medida como la desviación estandar de la serie anual, pasó de 340 a 360 mm, es decir, un aumento de apenas 20 mm, que representa alrededor de un 5% y bien podría considerarse dentro del error de estimación. Para reanalizar el tema de la variabilidad, se volvió a la serie mensual. En primer lugar, resultaron valores medios mensuales de 103 y 128 mm para cada uno de los dos períodos (31-70 y 80-02), muy similares a los que surgen de dividir los promedios anuales por la cantidad de meses del año (99 y 128 mm, respectivamente). La variabilidad, por su parte, pasa de 77 mm en el primer período a 97 mm en el segundo, mostrando un aumento de 20 mm, *que representan un incremento de 26%*, casi tan importante como el del valor medio. Se concluye que *la variabilidad mensual se ha incrementado significativamente*, mientras que la variabilidad anual lo ha hecho menos marcadamente, indicando una suerte de compensación entre meses más lluviosos y menos lluviosos dentro del año hidrológico.

En la figura 34 se presenta la serie de precipitación total por décadas, donde se vuelve a poner de manifiesto el fuerte aumento producido en las dos últimas, con una tendencia ya insinuada en las décadas del 60 y del 70.



CIC

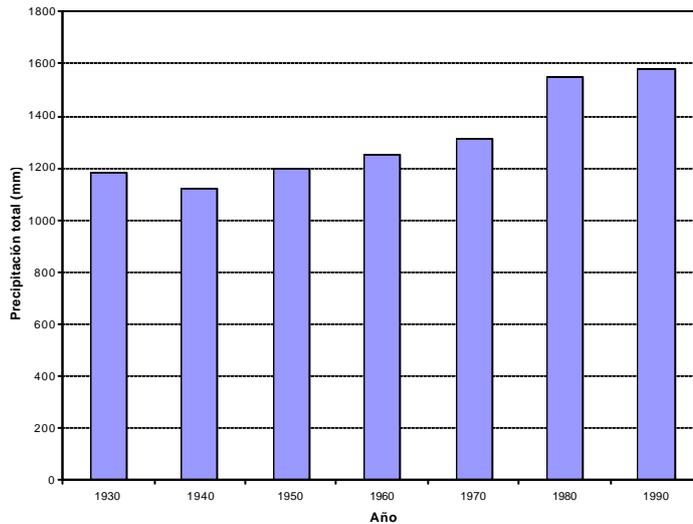


Figura 35 Serie de precipitaciones por década en la estancia Rincón de Luna

Para los caudales aforados, que presentan baches de información significativos, se efectuaron los promedios sobre los períodos 1977/1979 y 1993/2002, descartándose los valores medidos en la década del 80 por considerarse muestras sesgadas estacionalmente. Esos promedios resultaron de 25,6 y 78,6 m³/s, respectivamente. Esta diferencia tan considerable entre ambos se debe en gran medida a la crecida extraordinaria de 1998. Si no se considera ese año, el valor medio sobre el período 93/02 se reduce a 34,5 m³/s, lo cual significa un aumento de alrededor de 9 m³/s, es decir, del 35% respecto del período 77/79. Estos resultados se presentan en la figura 34. Nótese que si este es el incremento ocurrido entre fines de la década del 70 y la década del 90, entonces, de los potenciales 54 m³/s sólo está escurriendo aproximadamente el 20%, el cual es un coeficiente de escorrentía razonable para los esteros.



CIC

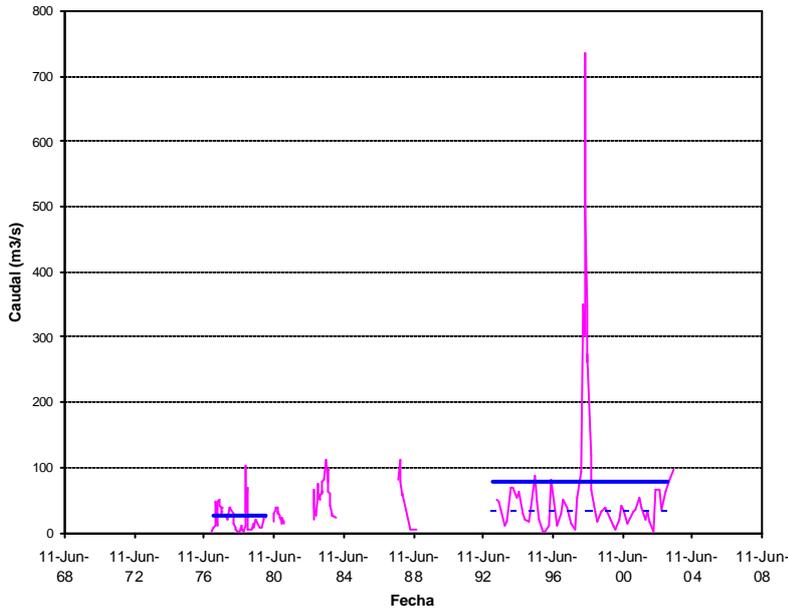


Figura 36 Serie de aforos y valores medios por períodos ($\frac{3}{4}$) y sin considerar el año 98 (-)

La variabilidad en la década del 70 fue de $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta sufrió un leve incremento a $21,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (alrededor del 9%) en la década del 90, si no se considera el pico del 98. De todos modos, los resultados obtenidos de esta partición en dos décadas deben ser utilizados con cuidado, ya que las cantidades de muestras sobre las que se efectuaron las estadísticas son escasas, sobre todo para el caudal.

Para cuantificar la relación entre lluvia y caudal para eventos hidrológicos extremos de crecida, de las figuras 32 y 33 se observa que los picos de caudal ordinarios, de entre 50 y $100 \text{ m}^3/\text{s}$, están asociados a picos de precipitación mensuales de alrededor de 300 mm . Por otro lado, los picos extraordinarios de 1998 son de $734 \text{ m}^3/\text{s}$ y 580 mm . Si los aproximadamente 300 mm adicionales se aplican a la totalidad de la cuenca da un escurrimiento potencial de alrededor de $600 \text{ m}^3/\text{s}$, que explica la diferencia observada, indicando que todo el exceso básicamente escurrió para el evento extraordinario.

6.5.2 Río Salado del Norte

El río Salado del Norte descarga sus aguas al río Paraná a la altura de la ciudad de Santa Fe, Argentina (figura 37). Los aportes de agua al río Salado del Norte provenientes de sus cuencas alta y media son, en general, de escasa significación en relación a los caudales máximos que se verifican en la cuenca baja. La cuenca inferior del río Salado es un sistema hidrológico de llanura que se desarrolla principalmente en territorio santafesino. Pueden distinguirse dos tramos del curso en la cuenca baja. El tramo superior se desarrolla con dirección NO-SE, desde la ciudad de Tostado hasta la confluencia del río Calchaquí, el cual drena aguas provenientes de los Bajos Submeridionales. En este tramo el cauce tiene una escasa capacidad de conducción. El tramo inferior se desarrolla con dirección N-S, desde dicha confluencia hasta su desembocadura en el sistema Paraná, entre las ciudades



CIC

de Santa Fe y Santo Tomé. En este tramo, los principales afluentes se ubican sobre la margen derecha y son los arroyos Las Conchas, San Antonio y Cululú (Figura 34).

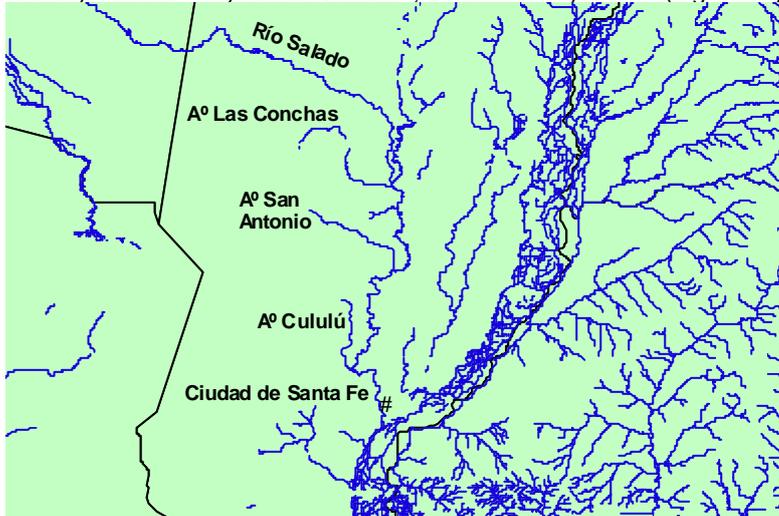


Figura 37 Mapa de ubicación de la cuenca baja del río Salado del Norte

En la Provincia de Santa Fe existe un gradiente de las precipitaciones medias anuales en el sentido Este-Oeste, originando una transición desde un clima sub húmedo en las zonas oriental y central a semiárido en el límite occidental. Este gradiente iba desde 1100 mm hasta 800 mm para el período 1941/1970, y pasó a 1200-900 mm para el período 1971/2000. Las precipitaciones, además, presentan una importante irregularidad temporal, dando lugar a la alternancia de períodos hídricos secos, normales y húmedos. Durante parte de la década del '40 y la década del '50 se registró un período seco, mientras que a partir del año 1973, aproximadamente, la Provincia se encuentra dentro de un período húmedo prácticamente continuo hasta la actualidad. Esta persistencia de condiciones húmedas está caracterizada por la aparición, cada vez con mayor frecuencia, de eventos lluviosos muy intensos y arealmente concentrados (FICH 2003).

En un estudio conjunto efectuado por el INA y la FICH (1998) se analizó la recurrencia de caudales extremos del río Salado en base a una serie de 41 años de datos, obteniéndose los siguientes resultados:

Recurrencia (años)	Caudal (m ³ /s)
100	2550
50	2150
10	1250
2	370

El mismo estudio, ante la evidencia de la aparición de mayor cantidad de crecidas significativas desde el inicio de la década del 70, se repitió el análisis de recurrencia restringiéndolo al período 1971-1998, obteniéndose:



CIC

Recurrencia (años)	Caudal (m ³ /s)
100	3010
50	2590
10	1615
5	1190
2	600

Se observan incrementos respecto de la serie completa que van desde el 62% para la recurrencia de 2 años hasta el 18% para la de 100 años.

La ciudad de Santa Fe se ha visto sometida a lo largo de su historia a cíclicas situaciones de inundación, producto de su emplazamiento en una geografía marcada por la presencia de ríos. Sin embargo, ninguna de las inundaciones de las que se tenga registro es comparable, en términos de la magnitud de sus efectos, con la provocada a fines del mes de abril y principios de mayo de 2003 por el desborde del río Salado del Norte. Las pérdidas de vidas humanas, el elevado número de evacuados y los daños materiales producidos, han dado a este evento el carácter de una catástrofe que ha conmovido a la opinión pública local, nacional e internacional. La sola mención de que más de un tercio del total de la ciudad estuvo bajo las aguas (figura 36), afectando a zonas densamente pobladas y edificios de importancia estratégica como hospitales y una central eléctrica, resulta un indicador contundente de los efectos devastadores del evento.



Figura 38 Imagen satelital de la inundación de Santa Fe el día 3 de mayo de 2003

Esa crecida del río Salado del Norte se originó por la ocurrencia de precipitaciones intensas sobre su cuenca baja, ocurridas principalmente entre los días 22 y 24 de abril del 2003. Durante esos días un sistema frontal caliente semi-estacionario se ubicó en el centro del litoral argentino (zona norte de Entre Ríos, sur de Corrientes y centro de Santa Fe). Sobre este sistema frontal se formaron núcleos de nubes convectivas, que originaron grandes lluvias. Se destaca que en la zona central de la cuenca baja (San Cristóbal, La Penca) el



CIC

total de lluvia caída durante estos 3 meses, fue similar al promedio anual en dicha zona. Estas lluvias se produjeron sobre una cuenca saturada, producto de precipitaciones ocurridas en los meses previos, cuestión agravada por el ascenso generalizado de los niveles freáticos ocurrido en las últimas décadas. Este estado de saturación antecedente provocó que un importante porcentaje del agua precipitada se convierta en escurrimiento. La onda de crecida originada por estas lluvias se superpuso sobre la recesión de una onda previa, ocurrida durante el mes de marzo. El pico de la primera onda de crecida se registró en la escala hidrométrica de Santo Tomé el día 12 de marzo, con una altura de 5,42 m (equivalente a cota 13,75 m IGM). Los efectos de la segunda onda de crecida se comenzaron a manifestar a partir del día 23 de abril en la escala de Santo Tomé, alcanzando un pico de 6,37 m en esta estación el día 30. El caudal aforado el 30 de abril en la sección del viaducto ferroviario ubicado entre la Autopista Santa Fe-Rosario y el Puente Carretero Santa Fe-Santo Tomé fue de 3100 m³/s (FICH 2003).

Nótese que el máximo caudal aforado corresponde a la crecida de 100 años de recurrencia, de acuerdo al análisis sobre la serie corta. Sin embargo, la recurrencia de este evento caería drásticamente si se lo incluyera en el análisis de recurrencia.

6.5.3. Estimación de los Daños por Crecidas (Fuente: Ministerio del Interior de Argentina 1994)

La información histórica disponible permite estimar los daños directos de las inundaciones de 1982-83 y 1992, aunque con importantes salvedades respecto al grado de error y de comparabilidad entre los valores obtenidos.

Estas salvedades se refieren a superposiciones en la contabilidad de algunos daños, o bien a daños que habrían sido omitidos por información incompleta; al empleo de metodologías que arrojan errores de cálculo significativos; a cambios importantes en la década del 80 respecto al grado de desarrollo de recintos y defensas para los núcleos urbanos más afectados; a falta de coincidencia, en varios casos, entre los valores aportados, por diversas fuentes, y a ausencia de cierta información.

Organismos oficiales y privados, investigadores, periódicos, etc., provinciales y nacionales, han realizado estudios y evaluaciones valiosas y aportado datos muy importantes.

Esta información y estudios, si bien dispersos y no siempre coincidentes en sus conclusiones, merecerían ser compilados y analizados, a fin de compensar el volumen de información directa sobre daños, que se perdió y que es irrecuperable como tal.

En las ciudades es donde hay que concentrar los esfuerzos, para mayor precisión en las evaluaciones de daños, por ser las áreas donde se concentra la mayor riqueza regional y la mayor parte de la población afectada.

Los valores básicos de los daños por las crecidas de 1982/83 y 1992 son los que figuran en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Daños por las crecidas 1982-82 de los ríos Paraná, Paraguay, y Uruguay (Millones de dólares de Agosto 1983).

Tipo de Daño	Misiones	Formosa	Chaco	Provincia Corrientes	Santa Fe	Entre Ríos	Total
Evacuación y emergencia	0.2	24.5	16.2	4.6	7.8	2.3	55.6
Viviendas y ed. Públicos	25.0	80.8	93.8	37.4	20.6	33.3	290.9
Agricultura	17.8	29.3	27.2	34.6	11.7	33.4	154.0



CIC

Ganadería	-	21.9	8.8	22.6	8.4	34.4	96.1
Ind. Com. y Servicios	35.6	102.4	107.7	114.4	16.8	43.1	420.0
Infraestructura :							
-Vial	-	4.9	62.9	8.2	20.8	83.8	70.3
-Ferroviaria	-	-	-	1.4*	-	-	36.8*
-Navegação	-	-	-	-	-	-	-
Agua Potable y cloacas	0.6	1.8	2.6	0.4	4.1	0.8	10.3
Infraestructura urbana	0.3	2.3	1.3	3.4	4.4	2.8	14.5**
Mayores costos por corte de rutas	-	-	-	0.2*	-	4.2*	4.4
						Total	1514.3

*Estimación

** Incluye 0.2 x 10⁶ U\$S en Buenos Aires

Tabla 8 Daños por la crecida de 1992 de los Ríos Paraná, Paraguay y Uruguay (en Millones de dólares de Diciembre 1992).

Sector	Misiones	Formosa	Chaco	Corrientes	Santa Fe	Entre Ríos	B. Aires	Total
Evacuación y emergencia	1.35	4.04	1.85	2.70	1.35	1.35	2.50	15.14
Agricultura y ganadería	0.00	62.00	35.6	41.70	32.0	13.4	0.00	184.60
Industria, comercio y servicios	26.20	75.10	53.00	81.00	13.50	32.40	0.00	281.20
Gastos para ejecución de obras de defensa	2.50	16.00	3.00	2.00	5.12	2.50	0.80	31.92

La información disponible global sobre la crecida de 1992 es menos completa que en el caso de la crecida 1982/83 y, por lo tanto, los datos sobre daños directos pueden tener un grado de error mayor.

Sería útil contabilizar los daños para las diferentes crecidas a un mismo nivel de la actividad económica (Tabla 9). Sin embargo cabe aclarar que se trata de una estimación, ya que no se cuenta con información económica suficientemente desagregada, que muestre la evolución de la economía en las áreas realmente afectadas. Sólo es posible disponer de esa información por provincias, a nivel departamental y en algunos casos y períodos.



CIC

Tabla 9. Daños directos para diferentes crecidas para el nivel de actividad económica del año de cada crecida (en millones de dólares, de diciembre de 1992)

	Crecida	
	1982/83	1992
Daño (10 ⁶ US\$, de 1992)	2614	513

El único ajuste que se puede realizar, con relativa confiabilidad, a los daños históricos, es el referido a la moneda, calculando los daños en moneda constante a una fecha dada. El valor de los daños por la crecida de 1992 resulta significativamente bajo, para la segunda crecida en importancia en cuanto a pico, siendo sensiblemente inferior, incluso, al de la crecida de 1966 (856 x 10⁶ US\$ de 1992) para un pico menor.

Se podría explicar en parte este resultado teniendo en cuenta la corta duración de la crecida y la existencia de recintos en la mayoría de los principales centros urbanos más amenazados por crecidas anteriores (Clorinda, Formosa, Goya, Resistencia, Santa Fe, Ibicuy y Paranácito) sobre el río Paraná. Este segundo factor ha sido sustantivo para reducir los daños en que esos núcleos urbanos, salvo en los casos de Clorinda e Ibicuy, donde las aguas atravesaron o sobrepasaron las defensas urbanas, que no eran consideradas definitivas.

No se ha podido esclarecer si esta cifra baja de daños directos se debe exclusivamente a la presencia de tales recintos, o habría también errores de sub-evaluación de los daños.

Existe también información referida a daños intangibles, en particular respecto a áreas inundadas (Tabla 10) y población evacuada (Tabla 11).

Tabla 10. Áreas inundadas según distintas crecidas.

Provincia	Crecidas (Áreas inundadas, en ha) 1982/83	1992
Formosa	s/d	177.000
Comentes	310.000	227.000
Chaco	400.000	220.000
Santa Fe	1.600.000	1.232.000
Entre Ríos	40.000	1.270.000
Misiones	s/d	s/d
Buenos Aires	s/d	s/d
Total	2.350.000	3.126.000

Tabla 11. Población evacuada según distintas crecidas.

Provincia	Crecidas (Población Evacuada) 1982/83	1992
Misiones	13.900	1.556
Corrientes	20.170	16.359
Chaco	90.352	5.249



CIC

Santa Fe	24.900	37.100
Entre Ríos	18.500	13.700
Formosa	67.043	47.423
Buenos Aires	s/d	1.296
Totales	234.865	122.503

Estas cifras reflejan, aunque de un modo limitado, el verdadero significado de los daños no medibles económicamente, pero que afectan las estructuras sociales y la calidad de vida de los sectores poblacionales más directamente afectados, al incidir en los parámetros de salud, de alimentación, de ocupación, etc.

Cabría agregar consideraciones en relación a daños indirectos como, por ejemplo, los impactos de las pérdidas agrícolas sobre la industria procesadora de alimentos y luego sobre otros sectores, que pueden ser significativos. Se han ideado algunas metodologías para estimarlos, basadas en el cálculo de pérdidas de valores agregados para las distintas actividades económicas.

6.6 Extremos hidrometeorológicos en la parte Uruguay de la Cuenca del Plata, y discusiones de alertas tempranas de desastre

Uruguay viene ejecutando con la asistencia del PNUD un proyecto sobre "Prevención y Mitigación de emergencias ambientales de origen climático", que tiene como objetivo lograr el desarrollo de medidas de manejo de riesgos, e manera de anticipar anomalías de tiempo y prever sus consecuencias, con la finalidad de reducir los impactos económicos y sociales negativos das condiciones climáticas desfavorables. El proyecto, en un mediano plazo va a generar bases para el establecimiento de adecuados sistemas de alerta tempranas y de evaluación integral de los desastres naturales, así como la incorporación de la evaluación de riesgos y de las medidas para reducir la vulnerabilidad en los estudios de impacto ambiental.

A la fecha, las siguientes iniciativas fueron tomadas:

-Informe meteorológico: se consideran los procesos atmosféricos generadores de emergencia de dos tipos (espontáneos o de corto periodo –meteorológicos-, y aquellos de alrededor de una semana de duración- climáticos -). En Uruguay esta información se recoge en la Red Meteorológica Nacional y la Red Pluviométrica Nacional, operados por la dirección Nacional de Meteorología y la Red del Servicio Ocenográfico, Hidrográfico e Meteorológico de la Armada. En lo que respecta a la totalidad de fenómenos atmosféricos severos considerados, es común la no existencia de relevamientos. En cuanto a las inundaciones, se reporta una continua mejora en los elementos de análisis de la situación a través de salidas de modelos e información de satélites. Donde mas se sienten las carencias de alerta temprana es en la pequeña escala, correspondiente a lugares sensibles. En cuanto a la sequía, se señala un deterioro en los sistemas de alerta temprana existentes, constatándose además carencias culturales que dificultan el manejo del tema.

-Informe hidrológico: Para en análisis hidrológico de eventos extremos (inundaciones y sequías), se considera la división en sub cuencas adoptada por la Dirección Nacional de Hidrografía. Para cada una de ellas se considera la información existente referente a la problemática de estudio en base a los datos del Sistema Nacional de Emergencia. En alguno de los casos se evalúa una metodología que permite prever la ocurrencia de inundaciones y su magnitud, lo cual se incorpora a un plan de emergencia propuesto. Estos métodos simplificados de alerta hidrológico tienen limitaciones propias de la complejidad de



CIC

los procesos de crecidas y pueden utilizarse como una herramienta de previsión con intervalo de estimación suficientemente amplio.

Muchos de los fenómenos adversos que provocan daño no tienen registros ni evaluación económica de las pérdidas y aun carecen de la debida atención tanto de la sociedad como de las instituciones que manejan el tema, tal como ocurre con las heladas y sequías. Las inundaciones son los eventos de mayor impacto social y que a la vez se presentan como un problema común a la mayoría de las ciudades. El problema de las inundaciones se ve agudizando a partir de la década de los 90s y se enmarca en tres situaciones típicas: Ciudades ubicados sobre los ríos medianos, sobre el Río Negro y Uruguay y sobre el Río de La Plata. Las inundaciones tienen una fuerte incidencia en la economía siendo que representan la evacuación de más de 30,000 personas en los últimos cinco años con las consiguientes pérdidas económicas.

Sistema Nacional de Emergencias (SNE): El SNE tiene como misión planificar, coordinar, ejecutar, conducir, evaluar y entender en la prevención y las acciones necesarias para aprontar situaciones de emergencia, crisis y desastres excepcionales que pueden ocurrir en el ámbito del territorio nacional. EL SNE esta integrado por cuatro órganos: Comité Nacional de Emergencia, Consejo Nacional de Emergencia, una Dirección Técnica y operativa Permanente y Comités Departamentales, los que son activados en función de la intensidad de la emergencia.

Debilidades del SNE: Falta de personal y recursos. La mayor debilidad es que siempre se ha pensado en dar respuesta a las emergencias, y no se han instrumentado medidas para gestionar el riesgo.

Fortalezas del SNE: Depende directamente de la Presidencia de la Republica, y en situaciones de emergencia le confiere facilidad para obtener la autorización de la presidencia para efectuar compras de emergencia. De surgir una emergencia, se realiza una evaluación para definir el nivel de emergencia, y un seguimiento de su evolución una o dos veces al día.

7. Casos de estudio de EHE

7.1 Lluvias intensas en los días 1 de Junio y 1 de Octubre de 2001 en el sur de Brasil

A continuación, se analiza dos casos de la Tabla 2 de eventos extremos, para los días 1 de Junio e 1 de Octubre 2001, así como del evento de lluvias intensas de 18 de abril de 2003 que motivó la gran inundación de Santa Fe en Argentina. La Figura 40 muestra el campo de isoyetas para el día 1 de octubre de 2001 (intervalo cada 20 mm). Las lluvias registradas en este episodio provocaron grandes trastornos en la región sur de Brasil, con inundaciones y granizo que dejaron cerca de 2000 damnificados. La Figura 41 muestra que las lluvias intensas se registraron entre el centro de Rio Grande do Sul y el estado de Paraná. En este episodio se observó claramente la interacción entre dos sistemas de escalas diferentes. Un intenso CCM formado en el sur de Paraguay, debido al transporte de calor y humedad debido al jet de bajos niveles (SALLJ), y se unió a un sistema de baja presión de escala sinóptica formado sobre la parte central de Argentina. En Junio, la tormenta del día 1 de Junio fue más localizada en la parte central y sur de Rio Grande do Sul.



CIC

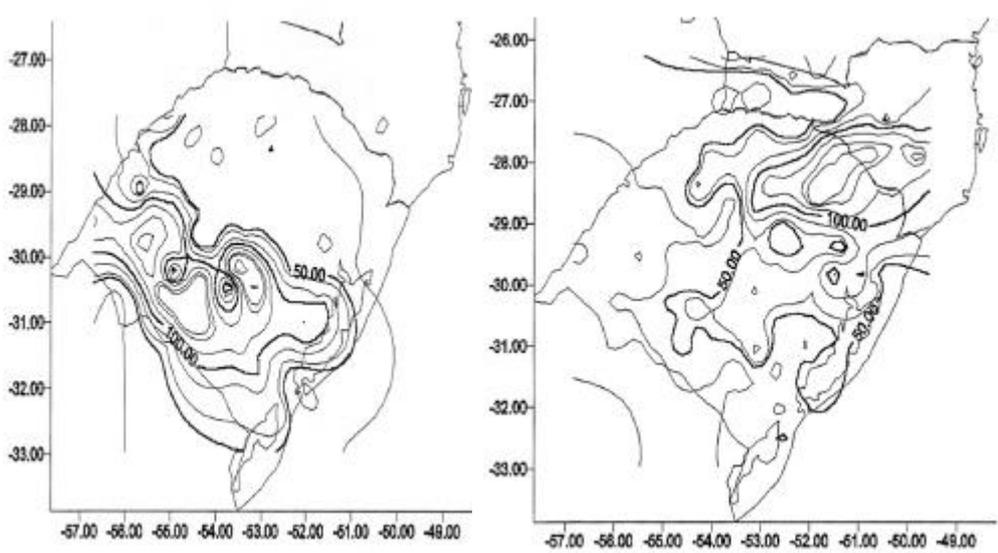


Figura 40. Campo de isoyetas para el día 1 de Junio de 2001 (izquierda) y 1 de octubre 2001 (derecha) para la región sur de Brasil. Fuente: Teixeira 2004.

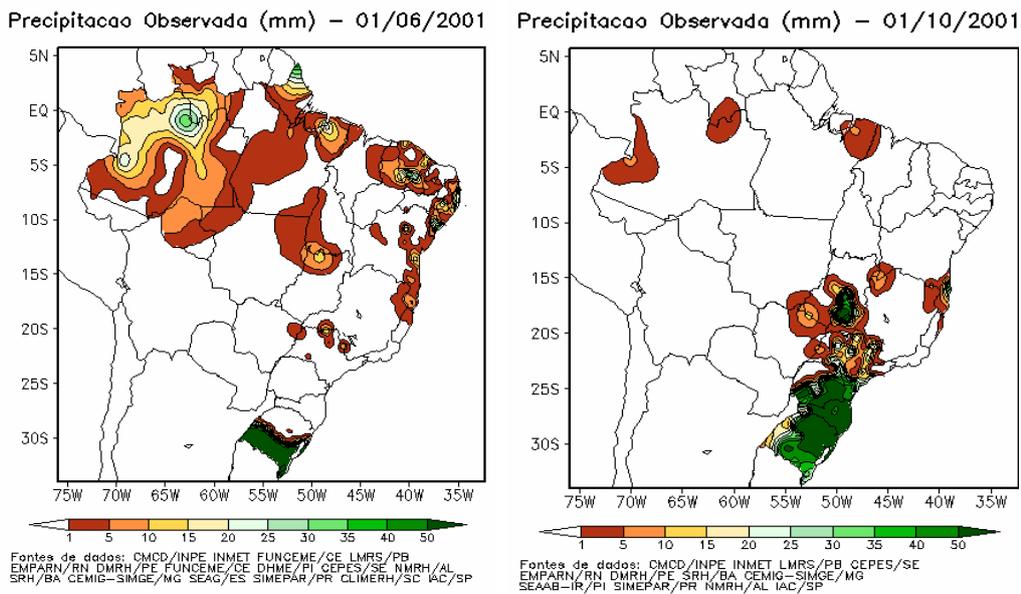


Figura 41. Campo de isoyetas para el día 1 de Junio de 2001 (izquierda) y 1 de octubre 2001 (derecha). Fuente: CPTEC



CIC

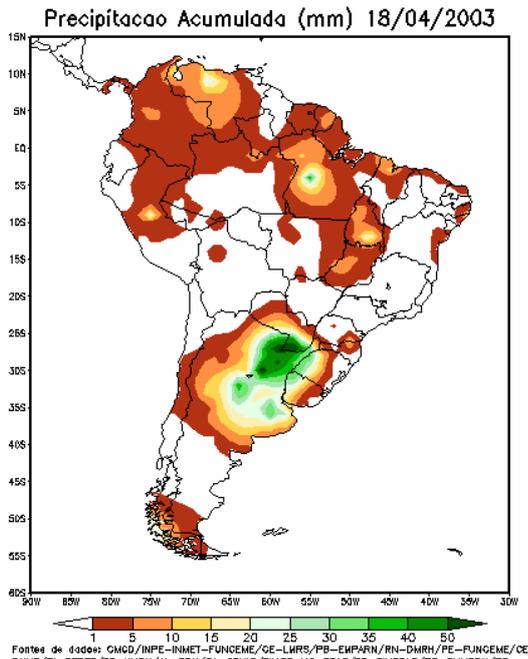


Figura 42. Campo de isoyetas para el día 18 de abril de 2003. Fuente: CPTEC/INPE

7.2 Caso de Abril 2003 en Santa Fe

Durante la segunda mitad de abril 2003, lluvias abundantes (Figura 42) llevaron a inundaciones intensas en las provincias de Santa Fe, Santiago del Estero y Entre Ríos, en el noreste de Argentina, con 23 muertos, más de 100,00 evacuados y numerosos casos de enfermedades gastro-intestinales registrados. Las inundaciones a lo largo del Río Salado afectaron grandes partes de Santa Fe, donde carreteras y suministro eléctrico fueron cortados. Las abundantes lluvias que comenzaron a mediados de abril causaron el desborde del Río Salado el 28 de abril, resultando en inundaciones severas que determinaron la declaración de estado de emergencia en 35 localidades de la provincia de Santa Fe.

Las lluvias alcanzaron hasta 508 mm en 12 horas. Las figuras 43 y 44 presentan fotografías de la inundación de la ciudad de Santa Fe (capital de la Provincia homónima, en Argentina) en abril/mayo de 2003, cuando se produjo una crecida extraordinaria del río Salado que anegó súbitamente gran parte de la ciudad, provocando muertes y cuantiosos daños materiales. Los niveles del Río Salado se elevaban hasta 2 cm por hora, según la Defensa Civil.



CIC



Figura 43 Fotografía del Hospital de Niños de la ciudad de Santa Fe durante la crecida de 2003 del río Salado



Figura 44 Fotografía del barrio Barranquitas de la ciudad de Santa Fe durante la crecida de 2003 del río Salado

8. Predicción y previsibilidad de extremos de lluvia

8.1 Actividades de predicción meteorológica actual en los centros numéricos de la región usando la técnica de "ensemble forecasting" concentrándose en extremos de lluvia

La predicción de tiempo y clima por ensembles o conjuntos es una técnica muy usada en los centros meteorológicos del mundo. Esfuerzos significativos en el CPTEC han sido dedicados al desarrollo de productos que sintetizan las informaciones del ensemble, de forma que ayuden a los meteorólogos operacionales a interpretar los productos. Los

4. Tema 3



CIC

siguientes productos a ser presentados hacen parte de la rutina operacional de predicción de tiempo del CPTEC y están disponibles en el web site del CPTEC. La forma más condensada de obtener información del ensemble consiste en obtener la media del mismo, asumiendo que todos los miembros son igualmente probables; de esta forma, no se le atribuye un peso mayor a alguna predicción específica. La media del ensemble puede ser considerada como una aproximación determinística de la mejor estimación como de la atmósfera futura, especialmente en la predicción a medio plazo.

Una información muy importante que puede ser obtenida de la predicción por ensembles está relacionada a la capacidad de estimar la incertidumbre asociada a un determinado patrón atmosférico previsto. Esta incertidumbre se analiza en función de la dispersión entre miembros del ensemble, y se puede definir como la desviación estandar en relación a la media del ensemble. Esta dispersión puede ser calculada para cualquier variable deseada, y generalmente son graficados en el mismo gráfico de la predicción media del conjunto.

La predicción de probabilidades es uno de los productos de gran aplicabilidad y que puede ser generada a partir de la predicción de tiempo por ensembles. Si se considera un valor límite de lluvia preestablecido, por ejemplo una precipitación acumulada mayor de 1 mm en 24 horas (lo que representa prácticamente la posibilidad o no de tener lluvia), puede estimarse especialmente cuáles son las regiones donde es más probable la ocurrencia de lluvia en las últimas 24 horas de predicción del modelo. Para regiones que muestran probabilidades mayores a 65 %, para un valor límite de 1 mm, las condiciones atmosféricas indican posibilidad de ocurrencia de precipitación, aunque no se pueda afirmar nada sobre la intensidad, apenas que debe haber precipitación. Por otro lado, regiones que presentan probabilidades menores a 35 %, para el valor límite de 1 mm, las condiciones atmosféricas indican que existen pocas chances de ocurrencia de algún tipo de precipitación. Para tratar de determinar cuál es la categoría de precipitación prevista para una determinada región, la cantidad de precipitación puede ser clasificada en categorías conforme a la información en la Tabla 12, y entonces calcular las probabilidades para los demás valores límite graficando todos las curvas en una misma figura.

Tabla 12– Clasificación de las precipitaciones acumuladas en 24 horas en categorías y sus respectivos valores límite.

Categorías	Valor límite (mm)
LLuvia o no lluvia	1.0
Débil	5.0
Moderada	10.0
Fuerte	10.0

La Figura 45 muestra la predicción de probabilidades de precipitación acumulada en 24 horas, válida para el día 23/05/2004 a las 12Z. En la parte superior izquierda se presentan las probabilidades de ocurrencia de lluvia mayores de 1 mm, o sea, ocurre lluvia o no. Las regiones que presentan probabilidades mayores a 65 % pueden ser consideradas como teniendo lluvia de algún tipo, en tanto que probabilidades inferiores a 65% pueden ser consideradas con pocas chances de tener lluvia. Adicionalmente, en las regiones donde las probabilidades son menores a 35% es posible que no ocurra lluvia. Para los mapas de 5 y 10 mm (superior derecho e inferior izquierdo), puede considerarse que probabilidades mayores de 65 % indican una gran posibilidad de ocurrencia de precipitación moderada o fuerte, y por otro lado, probabilidades menores a 65 % indican pocas chances de



CIC

precipitación mayor de 5 y 10 mm. El mapa inferior izquierdo, con valor límite de 20 mm, representa una tentativa de predecir probabilidades de ocurrencia de lluvias intensas, y así que el valor límite de precipitación aumenta, el número de puntos donde se verifican las lluvias mayores de este valor límite disminuye, y consecuentemente es más difícil de ser previsto por el modelo. En las regiones que presentan probabilidades mayores a 5 % existen, potencialmente, chances de ocurrencia de precipitación mayor de 20 mm, lo que no necesariamente indica lluvias intensas, pues esta cantidad corresponde al acumulado en 24 horas.

El sistema actual de predicción por ensembles es utilizado con el modelo global con una resolución horizontal de aproximadamente 100x100 Km, y así es prudente considerar que las probabilidades previstas tienen como origen la precipitación resultante de los patrones sinópticos de la atmósfera, por eso no se descarta la posibilidad de la influencia de fenómenos localizados, que pueden determinar la condición de tiempo local.

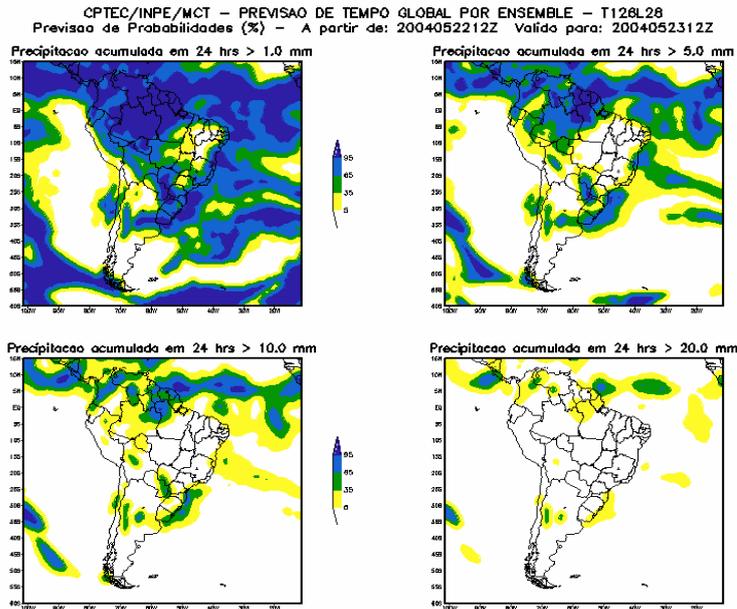


Figura 45 – Predicción de probabilidades para os valores límites de precipitación mostrados en la Tabla . Predicción de 5 días a partir de las 12 Z del día 22 de Mayo 2004.

La predicción de probabilidades es elaborada para presentar la distribución espacial de probabilidades para un determinado plazo de predicción, por ejemplo, 24, 48 e 72 horas, en la forma de meteorograma. Alternativamente, las plumas de probabilidades presentan la evolución temporal de la distribución de probabilidades para un determinado punto en la grilla del modelo. La Figura 46 presenta un ejemplo para Foz de Iguazú. Como se observa, para la precipitación no son calculadas las probabilidades; en este caso, son graficados los valores de precipitación, en milímetros por hora, previstos por todos los miembros del ensemble. Para los demás campos, la probabilidad es calculada considerando que las predicciones de los miembros del ensemble sean equi-probables.



CIC

Una información importante que puede ser obtenida de las plumas de probabilidad está relacionada a la confiabilidad del evento previsto. En el caso de precipitación, donde son planteadas las predicciones de cada miembro, podemos ver que entre los días 23 y 25 de mayo que todos los miembros del ensemble prevén un máximo de precipitación aproximadamente en el mismo horario, aun que haya alguna divergencia en relación a la intensidad. De esta forma, puede atribuirse mayor confiabilidad a esta predicción y considerar que hay posibilidad de lluvias intensas, pues el período entre el inicio y el final de la lluvia es razonablemente corto.

8.2 Predicción de los casos extremos de lluvia de Junio y Octubre 2001 en el sur de Brasil y de Abril 2003 en Santa Fe

La Figura 47 muestra las predicciones de lluvia con 24, 48 y 72 horas de antecedencia para las 12 Z usando el modelo Eta de CPTEC, con una resolución de 40 km y corrido con las condiciones del modelo global de clima del CPTEC. Los resultados se muestran para los tres casos de estudio, con las predicciones para los eventos descritos anteriormente.

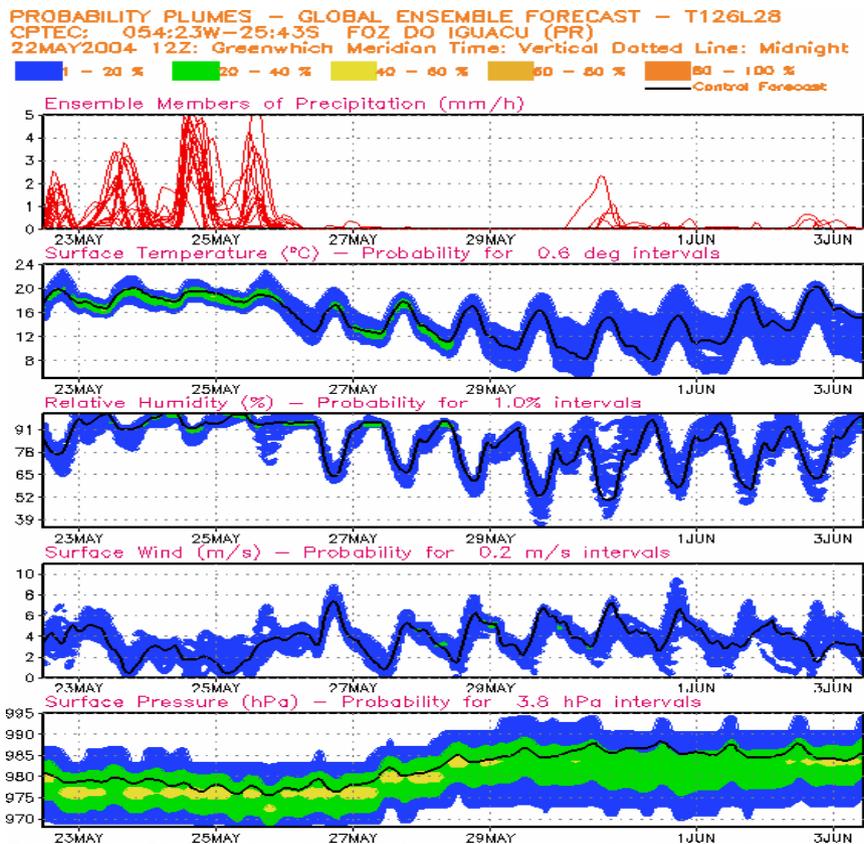


Figura 46 – Plumas de probabilidades para un punto de grilla donde está ubicada la ciudad de Foz de Iguazú. Predicción a partir Del día 21/05/2004 12Z. De arriba para abajo: el



CIC

primer panel presenta la predicción de los miembros para lluvia. En seguida las plumas de probabilidades: segundo gráfico para la temperatura en superficie; tercero gráfico para la humedad relativa en superficie; cuarto gráfico muestra la intensidad del viento en superficie; quinto gráfico muestra la presión en superficie. La curva sólida en negro muestra a predicción de la media del ensemble.

Para el evento de Junio 1 2001, el modelo prevé bastante bien con una antecendencia de 24 horas las lluvias entre el sur de Río Grande do Sul y Uruguay con una faja que se extiende desde el noreste de Argentina hasta el Atlántico típico de un frente frío. La intensidad observada (50 mm) tiende a ser subestimada por el modelo regional Eta/CPTEC, que muestra máximos de 25 mm. La predicción de 48 horas muestra el patrón de lluvia intensa bien representado pero más débil y con 72 horas el modelo Eta/CPTEC sólo muestra un área con totales de lluvia que no llega a 10 mm. Para el evento de 1 Octubre 2001, el modelo Eta/CPTEC representa bien el área con lluvia encima de 50 mm en los estados de Santa Catarina y Río Grande do Sul, y muestra lluvias abundantes en el este de Paraguay, Uruguay y la desembocadura del Río de la Plata. Para las predicciones de 48 horas el modelo Eta/CPTEC coloca lluvias intensas sobre Paraná y São Paulo que no se observan en el mapa de lluvia observada, y con 72 horas de antecendencia coloca una región con lluvia sobre Minas Gerais y no simula bien los máximos de lluvia observada.

En relación al evento de lluvias intensas en Santa Fe en abril de 2003, el modelo Eta/CPTEC representa muy bien la posición e intensidad del máximo de lluvia observada en el Noreste de Argentina-Sur del Paraguay con 24 horas de antecendencia. Sin embargo, con 48 horas de antecendencia el modelo simula este máximo de lluvia sobre el Sur de Brasil y con 72 horas de antecendencia el modelo muestra este máximo de lluvia sobre el sudeste de Brasil, con una orientación de sudeste a noroeste, y que es bastante diferente del mapa de lluvia observada para este día.

9. Modelo hidrodinámico de los ríos Paraná y Paraguay

El INA dispone de un modelo hidrodinámico de los tramos argentinos de los ríos Paraná y Paraguay, implementado en base al software *EZEIZA V*, capaz de simular la traslación de ondas en ríos y canales, desarrollado en el propio INA en 1988 (Menéndez, 1996), que también ha sido utilizado en una variedad de estudios de ingeniería hidráulica. En particular, fue usado para modelar la parte bonaerense del Delta del Paraná (Bombardelli et al. 1994).

9.1 Software *EZEIZA V*

El software *EZEIZA V* se basa en las ecuaciones de Saint Venant, que constituyen la representación matemática de los principios de conservación de la Mecánica: masa (continuidad) y cantidad de movimiento (longitudinal), en un análisis unidimensional. Estas ecuaciones forman un sistema hiperbólico de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, que representan la evolución de ondas superficiales en aguas poco profundas. El sistema de ecuaciones diferenciales está complementado por condiciones iniciales y de contorno. En régimen subcrítico, que es el caso de interés, se especifican como condiciones de borde los niveles o caudales instantáneos en los contornos de ingreso al sistema y los niveles o las relaciones altura-caudal en las desembocaduras. Como condiciones iniciales, deben proveerse las distribuciones de nivel y caudal sobre todo el sistema.



CIC

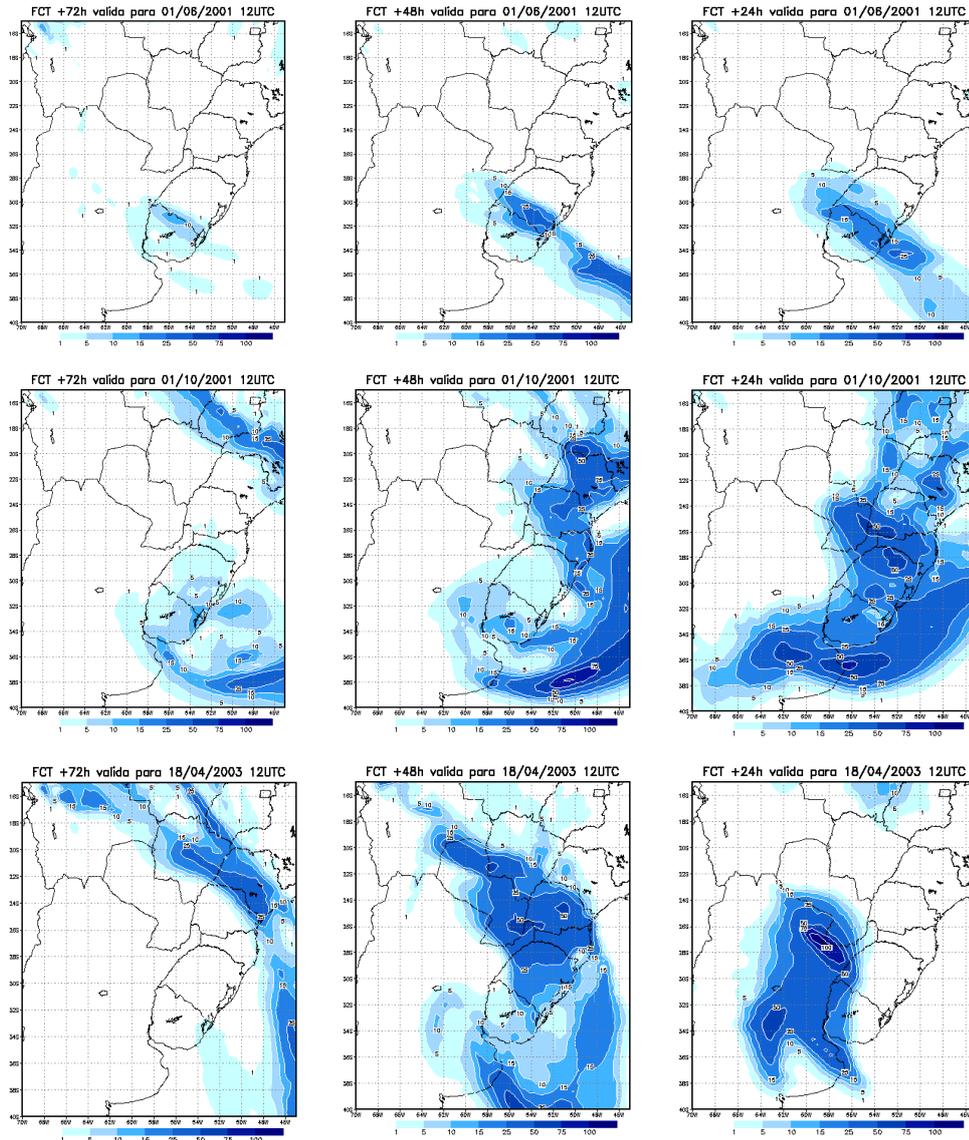


Figura 47. Predicción de lluvia para las 12 Z de los días 1 de Junio, 1 de Octubre 2001 y 18 de Abril 2003. Las predicciones son para 24, 48 y 72 horas, producidas por el modelo regional Eta/CPTEC con resolución de 40 km. Unidades son en mm.

Las ecuaciones se resuelven numéricamente, para régimen subcrítico, por el esquema implícito en diferencias finitas de Preissmann. En la unión de dos o más canales de la red se

4. Tema 3



CIC

impone un balance de masa y de energía mecánica. Las planicies de inundación se incorporan a través de la consideración de cauces de sección compuesta. El modelo es capaz de simular el flujo a través de estructuras tales como puentes, alcantarillas, vertederos, etc., considerándolas como singularidades y tratándolas separadamente. El software *EZEIZA V* plantea una descripción de la red de escurrimiento en "filamentos". Estos filamentos pertenecen a uno de los siguientes tipos:

- Tipo 1*: comienza y termina en bordes abiertos, donde se especifican las condiciones de borde adecuadas
- Tipo 2*: el filamento es abierto aguas arriba, donde se especifica la condición de contorno, y finaliza en otro filamento
- Tipo 3*: el filamento nace en otro filamento y es abierto aguas abajo, donde se especifica la condición de borde
- Tipo 4*: el filamento nace y finaliza en otro filamento, por lo que no es necesario establecer condiciones de borde.

La geometría del canal se provee a través de secciones transversales descritas como pares de coordenadas (distancia a la margen izquierda, cota de fondo) arbitrariamente localizadas. No obstante, el paso de cálculo espacial es constante, generándose los valores locales de los parámetros geométricos en base a una interpolación lineal entre los correspondientes a las dos secciones de información más cercanas. Este paso espacial se elige de forma de poder representar adecuadamente las escalas de movimiento de interés.

9.2 Implementación del modelo Paraná/Paraguay

El sistema modelado, que incluye parcialmente a los ríos Paraná y Paraguay (Figura 48), se extiende:

- a) Por el río Paraná, desde la localidad de Ituzaingó hasta la ciudad de Villa Constitución, aguas abajo de la ciudad de Rosario.
- b) Por el río Paraguay, desde la localidad de Puerto Pilcomayo hasta su desembocadura en el Río Paraná, en las proximidades de Paso de la Patria.

La Tabla 13 contiene, en forma resumida, las características de los filamentos que definen la red y la cantidad de secciones de información de cada uno.

Tabla 13 Características de la red de cálculo

No Filamento	Curso	Longitud (km)	Cantidad de secciones	Borde aguas arriba	Borde aguas abajo
1	Paraná	1083	76	Q ó H	H ó H-Q
2	Paraguay	380	77	H	-



CIC

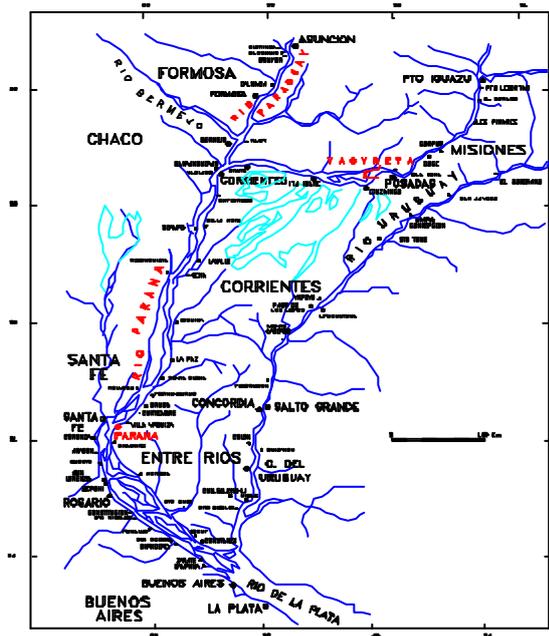


Figura 48 Área de estudio

El primer filamento, con 1083 km de extensión (río Paraná), es de tipo 1, requiriendo entonces condiciones de borde tanto en su extremo de aguas arriba como en el de aguas abajo. El segundo filamento, definido por el río Paraguay, es del tipo 2, es decir, requiere que se le provea sólo la condición del borde de aguas arriba. Su extremo aguas abajo es el nodo de unión con el otro filamento y queda supeditado a la conservación de la energía mecánica. Este filamento tiene una longitud de 376 km. En la figura 49 se muestra la localización de las estaciones de control en cada filamento, donde existen escalas hidrométricas.

La topografía fue representada mediante un conjunto de 153 secciones transversales en los dos cursos, correspondiendo 77 secciones al río Paraguay, entre Puerto Pilcomayo y Confluencia, y 76 secciones al río Paraná, entre Ituzaingó y la ciudad de Villa Constitución, información suministrada por la Subunidad Central Coordinadora para la Emergencia ante Inundaciones (SUCCE), correspondiente a la recopilación efectuada por Halcrow & Partners. El espaciamiento medio entre ellas es de 12 km en el Paraná y de 5 km en el Paraguay, valores que se consideran adecuados para representar los cambios geométricos a lo largo de los tramos de los cursos en estudio.



CIC

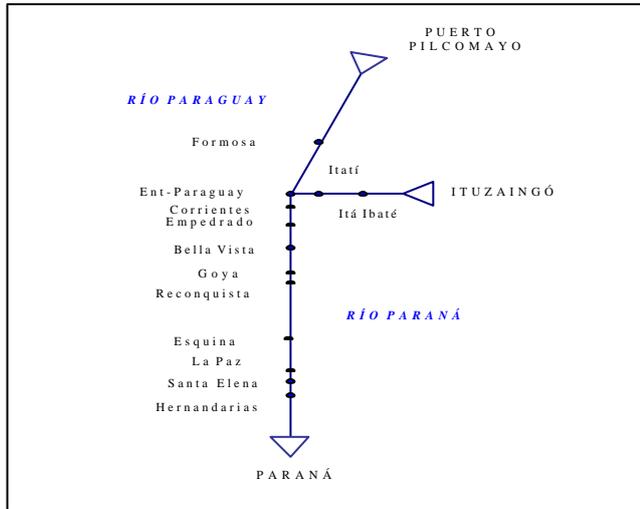


Figura 49 Esquematización del sistema

Las planicies de inundación suelen estar separadas de los cursos principales por *albardones* de una altura considerable. Estas formaciones están constituidas por sedimentos que va depositando el río al bajar las aguas luego de las grandes crecidas. A medida que se produce el ascenso de nivel en los ríos por sobre el albardón, comienza un trasvase de agua hacia las planicies. Una vez transferidos los primeros volúmenes de agua, las planicies actúan inicialmente como zonas de almacenamiento hasta que se generan los gradientes longitudinales y transversales de nivel (respecto a la disposición del río) que permiten un escurrimiento en las mismas. Puede ocurrir que, si el albardón es alto, quede agua en la planicie que no retorna directamente al cauce principal al bajar los niveles. La altura del albardón fue considerado un parámetro de ajuste del modelo, dada la escasa información disponible.

Para el río Paraná se utiliza como condición de borde de aguas arriba la serie de caudales medios diarios erogados en Yacyretá. En la frontera de aguas abajo se usa como condición de borde la serie de alturas hidrométricas diarias en Villa Constitución. En el río Paraguay la condición de borde de aguas arriba es la serie de niveles hidrométricos diarios en Puerto Pilcomayo.

Para cuantificar la resistencia hidráulica se dispone, como parámetro, del coeficiente de rugosidad de Manning, cuyo rango de variación está perfectamente acotado en función de la experiencia en la materia, resumida en la bibliografía internacional. En virtud de la existencia de mayor vegetación y obstrucciones en las planicies (asentamientos, muelles, etc.), la resistencia en la dirección de escurrimiento sobre ellas es mucho mayor que en los cauces principales. Para los cursos principales se utilizó un valor inicial de 0,026, mientras que para las planicies el valor original fue de 0,200. Ambos valores fueron luego ajustados en la etapa de calibración, efectuándose una zonificación separando distintos tramos de cauce y de planicie de inundación.

El software *EZEIZA V* opera con un paso de discretización espacial uniforme particular para cada filamento. Se tomó un paso espacial de 5 km, que se reajusta automáticamente en cada filamento para obtener un número entero de nodos equiespaciados. De esta forma se



CIC

arribó a un total de 300 nodos. El paso temporal que surge de la relación entre el paso espacial y la velocidad media de la corriente (estimada en 0,8 m/s), que se considera representativa de la celeridad de una onda cinemática, es de alrededor de 6000 segundos. Los cálculos se efectúan, de todos modos, con un paso temporal sensiblemente menor, a saber, 10 minutos, para lograr la precisión requerida.

La calibración del modelo se efectuó en base a la comparación de los niveles registrados y calculados en las estaciones de control, siendo el parámetro de ajuste el coeficiente de rugosidad de Manning y el nivel de los albardones. Se tomó como período de calibración el que se extiende entre marzo de 1996 y marzo de 1997 (376 días). La serie de alturas hidrométricas registradas entre marzo y octubre de 1996 corresponde a un período de aguas bajas y fue utilizada para calibrar el coeficiente de Manning del cauce principal, mientras que el período comprendido entre octubre de 1996 y marzo de 1997, durante el cual se desarrolló una gran crecida, fue empleado para calibrar el coeficiente de Manning de planicies y la altura de los albardones que las separan del cauce principal. El período comprendido entre octubre de 1994 y diciembre de 1995 constituyó el escenario de verificación de los valores obtenidos a partir de las corridas de calibración.

En el caso del Río Paraná, los valores finales del coeficiente de rugosidad de Manning obtenidos del ajuste están en el rango de 0,020-0,034 para el cauce del Paraná y 0,800 para la planicie. En el Río Paraguay, se mantuvieron los valores iniciales de coeficiente de rugosidad para cauce y planicie, 0,026 y 0,200, respectivamente. En las figuras 50 y 51 se comparan los niveles medidos y calculados por el modelo para las secciones Corrientes y Esquina a partir del 1º de abril de 1996, a los fines de eliminar el período transitorio inicial durante el cual el modelo entra en régimen.

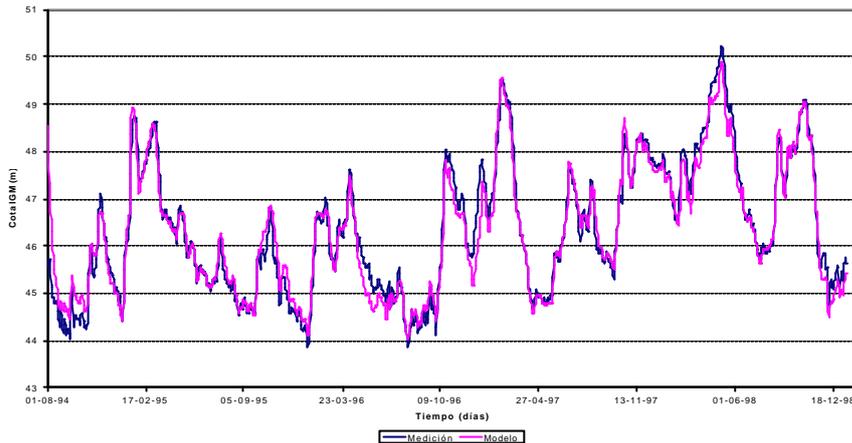


Figura 50 Comparación de niveles en la estación Corrientes



CIC

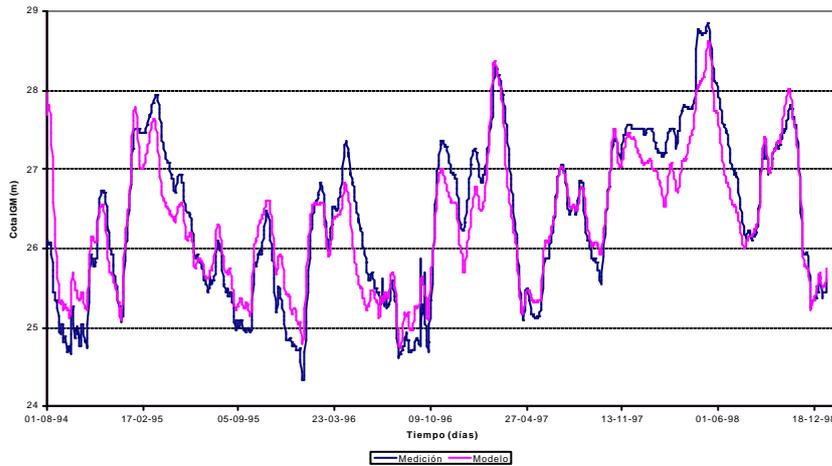


Figura 51 Comparación de niveles en la estación Esquina

En la figura 52 se muestra la comparación entre caudales calculados y aforos realizados entre 1981 y 1996 en la estación Corrientes. Allí también se indica una relación altura-caudal utilizada por la empresa EVARSA S.A., encargada de las mediciones.

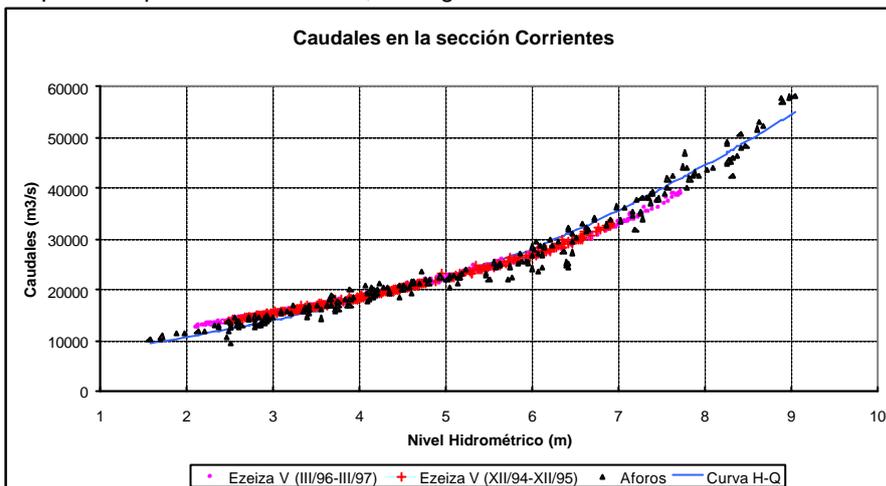


Figura 53 Comparación de caudales en la estación Corrientes

9.3 Aplicación al Alerta Hidrológico del INA

El modelo descrito es una de las herramientas fundamentales del Servicio de Alerta Hidrológico del INA, ya que propaga la onda de crecida proveniente de la alta cuenca, que es donde se origina la mayor parte del caudal, como fruto de las precipitaciones. El Servicio de Alerta Hidrológico del INA emite frecuentemente pronósticos, a cinco y diez días, de alturas hidrométricas en distintas estaciones a lo largo del río Paraná. Dado que se

4. Tema 3



CIC

requieren valores a diez días en avance, el modelo debe ser provisto con series temporales en sus bordes que tengan una duración tal que cubra dicho lapso. Vale decir, debe efectuarse una corrida cuyo período de simulación concluya diez días después de aquél en que se elabora el pronóstico.

La entrada más significativa de volumen se da en uno de los dos nodos extremos de aguas arriba, el que corresponde a Yacyretá, cuyos operadores informan la previsión de descarga media para el presente día y el siguiente. Los restantes nueve días deben ser completados sobre la base de un criterioso análisis de las condiciones en la alta cuenca en Brasil, más las previsiones de descarga de las presas brasileñas, principalmente Itaipú y las del río Iguazú.

En Puerto Pilcomayo, el otro extremo de aguas arriba en el sistema planteado, debe proporcionarse una serie estimativa de niveles hidrométricos diarios para los diez días mencionados. Para ello se evalúa el estado de las cuencas alta (brasileño-paraguaya) y media (paraguaya) del río Paraguay, así como las lecturas en las estaciones aguas arriba de Pto. Pilcomayo, la evolución de niveles en El Pantanal, etc.

El nodo extremo de aguas abajo es alimentado por su serie de alturas hidrométricas registradas, más la serie de los diez días en avance mencionados. Este procedimiento ha resultado más estable que el de proveer una relación altura-caudal en este extremo, que debía ser generada sintéticamente ante la carencia de datos, y que de todos modos ya estaría influenciada por los efectos de la onda de marea proveniente del Río de la Plata. Además, se verificó relativamente poca sensibilidad de los resultados hasta Rosario a variaciones en esa condición de borde.

El modelo ha venido siendo utilizado desde el año 1997 por el Alerta Hidrológico. Ha demostrado gran capacidad para simular las crecidas ordinarias. Durante la crecida extraordinaria de 1998 debieron efectuarse correcciones ad-hoc para tener en cuenta el aporte desde las subcuencas de los tributarios, ya que la anomalía climática produjo lluvias superiores a todos los registros históricos. También se detectaron algunos desajustes durante la gran bajante de 1999.

Está planteada la necesidad de implementar modelos hidrológicos para esas subcuencas laterales, pero esa tarea aún no se ha encarado.

10 Modelo hidrodinámico del Río de la Plata

A través de un trabajo combinado entre el INA y la FIUBA, se ha construido un modelo hidrodinámico del Río de la Plata, denominado *RPP-2D*, capaz de reproducir la generación y propagación de las ondas de tormenta a través de la incorporación al dominio de cálculo de gran parte del Frente Marítimo. Está basado en el software *HIDROBID II*, que parte de las ecuaciones para aguas poco profundas (modelo bidimensional horizontal), desarrollado en el propio INA en 1985 (Menéndez 1990), que también ha sido utilizado en una variedad de estudios de ingeniería hidráulica. En particular, fue utilizado para modelar el propio Río de la Plata sin incluir el Frente Marítimo (Jaime & Menéndez 1999).

10.1 Software *HIDROBID II*

El software *HIDROBID II* simula numéricamente flujos cuasi-bidimensionales (en el plano horizontal) a superficie libre. Está basado en la resolución numérica de las ecuaciones para aguas poco profundas ("shallow water equations"). Dado su carácter barotrópico, el software no puede representar la estratificación vertical debido al efecto de la salinidad.

El modelo teórico considera como fuerzas motrices a la gravedad, a la aceleración de Coriolis (fuerza de inercia debida a la rotación de la Tierra) y a las tensiones superficiales



CIC

debidas a la acción del viento. Por otro lado, tiene en cuenta la resistencia al movimiento proveniente de la generación de turbulencia en el fondo (históricamente denominada "fricción"). Supone que la forma del fondo es arbitraria, pero sin variación en el tiempo (fondo fijo) y sin cambios bruscos. Sin embargo, es capaz de asimilar cambios bruscos de profundidad a través de tratamientos especiales. Considera que la pendiente del fondo es pequeña. La hipótesis de flujo cuasi-bidimensional significa que el movimiento es esencialmente bidireccional y la velocidad es prácticamente uniforme a lo largo de la dirección vertical y que, en consecuencia, la aceleración vertical es despreciable frente a la de la gravedad, resultando entonces una distribución hidrostática de presiones.

Las ecuaciones para aguas poco profundas provienen del filtrado sobre el ensamble estadístico de las ecuaciones de Navier-Stokes (ecuaciones de Reynolds), seguido de la integración vertical y de la aplicación de las hipótesis simplificativas del modelo teórico.

El esquema numérico de resolución de estas ecuaciones utilizado en el software HIDROBID II se basa en el método de las diferencias finitas. La malla de discretización es del tipo alternada (las dos componentes de la velocidad y el nivel de agua están todos centrados en nodos diferentes) y el método es del tipo implícito de direcciones alternadas.

10.2 Implementación del modelo RPP-2D

En la Figura 54 se muestra el dominio de cálculo del modelo RPP-2D (Re & Menéndez 2003). La inclusión de la amplia zona de la plataforma continental resulta necesaria (y suficiente) para disponer de la longitud de desarrollo ("fetch") de las ondas de tormenta.

La información batimétrica se obtuvo a partir de la composición de dos bases de datos provistas por el Servicio de Hidrografía Naval de la Argentina. En base a ella se construyó un modelo numérico del terreno sobre una malla espacial rectangular con celdas cuadradas de 2500 m de lado, sobre un sistema de coordenadas orientado según las direcciones cardinales.

La rugosidad del fondo se caracterizó por medio del coeficiente de Manning, para el que se adoptó el valor uniforme de 0,015 proveniente de la calibración de un modelo exclusivo del Río de la Plata denominado RP2000 (Jaime & Menéndez 1999), dado que su efecto es significativo sólo en el interior del río, donde las profundidades son bajas, perdiendo importancia en la zona exterior. La descarga de cada uno de los tres tributarios considerados (brazo Paraná de las Palmas, brazo Paraná Guazú-Bravo y río Uruguay) se impuso como condición de borde en la respectiva celda de entrada.

El modelo tiene tres bordes oceánicos que constituyen contornos matemáticos: Sur, Este y Norte. Sobre los dos primeros se debe imponer la onda de marea astronómica. El borde Norte, por su parte, fue tratado como un contorno no reflejante, que permite la salida de las ondas que inciden sobre él sin reflejar información.

El paso de resolución temporal está ligado al paso espacial elegido, a través de la condición de que la onda de marea se propague del orden de un paso de celda durante ese lapso, por razones de precisión. Se tomó, en base a este criterio, un paso temporal de 1 minuto (Re & Menéndez 2003).

La onda de marea astronómica impuesta sobre los bordes Sur y Este del modelo fue construida en base a datos provistos por el Modelo Global de Marea RSC94 (Cartwright & Ray 1990). Dado que la onda se propaga de sur a norte, se verificó que el borde Este puede ser considerado como un contorno impenetrable, ya que la energía de onda que lo atraviesa es muy baja en relación con la que se propaga a lo largo de la plataforma continental, lo que permitió economizar tiempo de armado de ensayos.



CIC

Los campos de vientos actuantes sobre la superficie del agua fueron generados a partir de datos de los reanálisis de NCEP/NCAR (Kalnay et al. 1996). Estos tienen una resolución espacial de $1,9048^\circ$ de latitud y $1,875^\circ$ de longitud y temporal de 6 horas. En base a estos datos, el modelo *RPP-2D* obtiene datos locales de viento mediante una interpolación bilineal. Dado que los campos de vientos de NCEP/NCAR subestiman las intensidades de los vientos observados, ellas fueron incrementadas mediante una función moduladora que busca duplicar los valores de las intensidades muy bajas de vientos y mantener inalteradas las intensidades mayores (Simionato et al. 2002).



Figura 54 Dominio del modelo *RPP-2D*

La calibración del modelo hidrodinámico *RPP-2D* se desarrolló en etapas, en base al criterio de discriminar efectos. En primer lugar se trabajó con un escenario de marea astronómica pura. Para ello se utilizaron como comparación las mareas predichas en las Tablas de Mareas del SHN y del SOHMA (servicios hidrográficos de Argentina y Uruguay, respectivamente) para un total de 12 estaciones. La calibración consistió en producir algunos ajustes en la onda de marea entrante por el sur, teniendo en cuenta que los modelos globales de marea no representan adecuadamente a la onda en zonas muy cercanas a la costa, que es precisamente por donde fluye la mayor cantidad de energía de onda. A título de ilustración, la Figura 55 muestra la comparación entre los resultados del modelo y la Tabla para la estación Colonia.

Como segundo paso, se verificó la capacidad de simular velocidades de corriente para un escenario de marea normal, utilizando registros correspondientes a 10 estaciones de observación establecidas por la empresa Hidrovía S.A., localizadas en la zona media del río. El acuerdo obtenido se ilustra en la Figura 56. Las limitaciones de precisión de los datos de vientos son determinantes en los errores de representación del modelo.



CIC

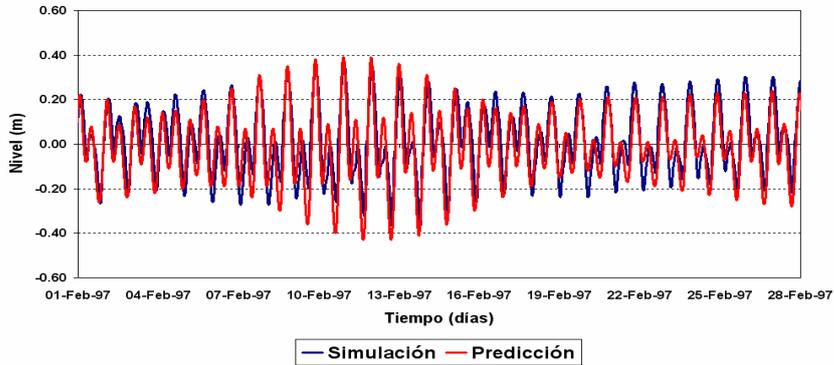


Figura 55 Comparación entre marea predicha (tablas) y calculada (modelo) en Colonia

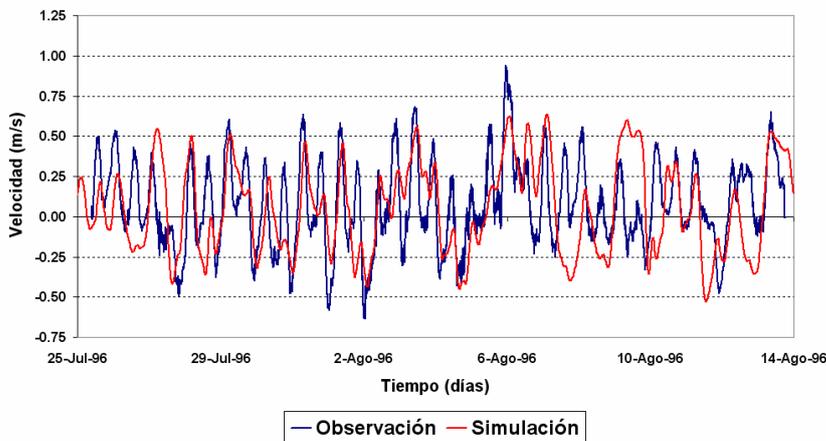


Figura 56 Comparación entre velocidades de corriente (Dirección E-O)

A continuación se continuó con la calibración para escenarios de tormenta. Para ello se identificaron eventos de tormentas de variados niveles de significación estadística y diferentes características en el período 1980-2000. La calibración consistió en obtener una formulación unificada para la función de modulación de los vientos, tratando de obtener el mejor acuerdo global posible. En la Figura 57 se muestra una comparación entre registros de niveles y resultados del modelo (luego de filtrada la marea astronómica) para una tormenta específica, de modo de ilustrar el grado de acuerdo alcanzado.



CIC

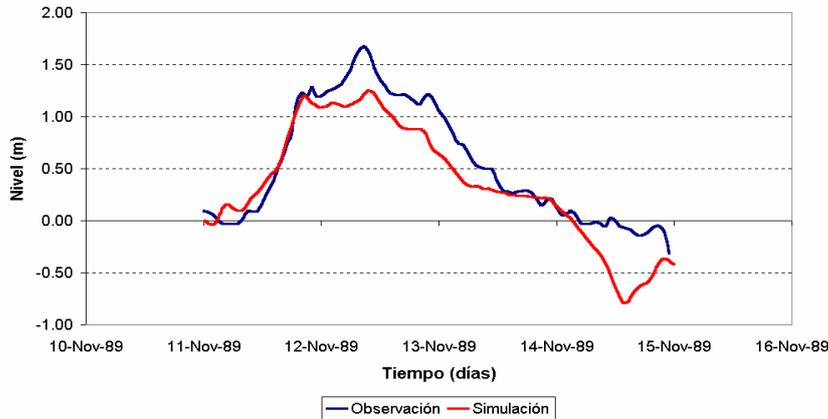


Figura 57 Comparación entre niveles registrados y calculados (Estación Torre Oyarvide)

)

Como verificación, se analizó la capacidad del modelo de representar adecuadamente la estadística de ocurrencia de niveles para la situación presente. Para caracterizar el escenario presente se utilizó la serie de niveles observados en Buenos Aires para el período 1990-1999. En la figura 58 se muestra la comparación entre niveles medios estacionales observados y simulados, mientras que en la figura 59 se presentan las curvas de distribución de frecuencia.

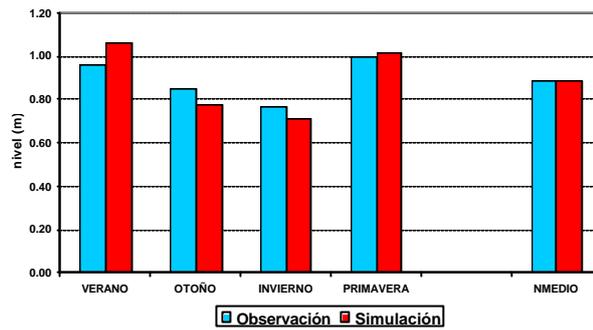


Figura 58 Niveles medios estacionales en Buenos Aires para la situación presente



CIC

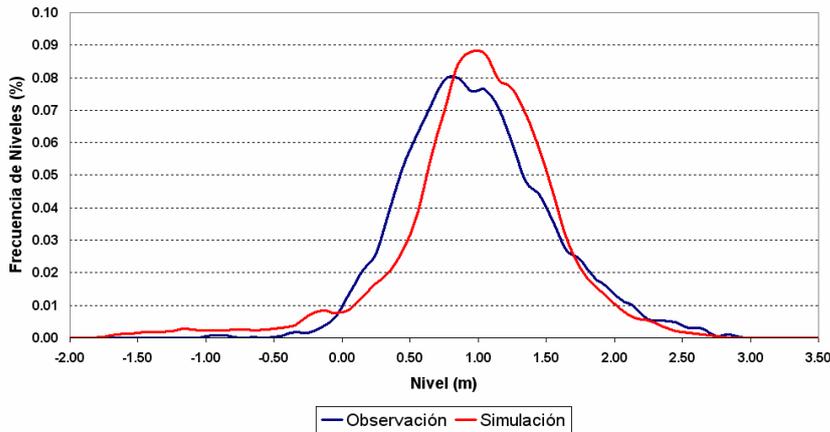


Figura 59 Estadística de frecuencia de niveles en Buenos Aires para el año 1997

10.3 Aplicación a la construcción de mapas de riesgo

Para construir los mapas de riesgo (Re et al. 2004) se utilizó como tormenta base la correspondiente al evento de mayor intensidad del año 2000, que constituyó un pico importante con una duración típica. Se construyeron, entonces, escenarios de tormenta sintéticos variando la intensidad del viento por medio de un factor, de modo de obtener una serie de niveles máximos en Buenos Aires correspondientes a distintas recurrencias (1, 5, 10, 20, 50 y 100 años). Cada ensayo implicó 4 días de simulación.

Se definieron 24 estaciones de control a lo largo de los aproximadamente 250 km de costa argentina, lo que da una separación media de alrededor de 10 km (Figura 60). Para cada una de ellas se almacenó la historia temporal del nivel, con un paso de 10 minutos. Luego se procedió a calcular la envolvente, encontrando el máximo de cada serie. También se obtuvo el momento de ocurrencia correspondiente, relativo al instante de ingreso de la onda.



CIC

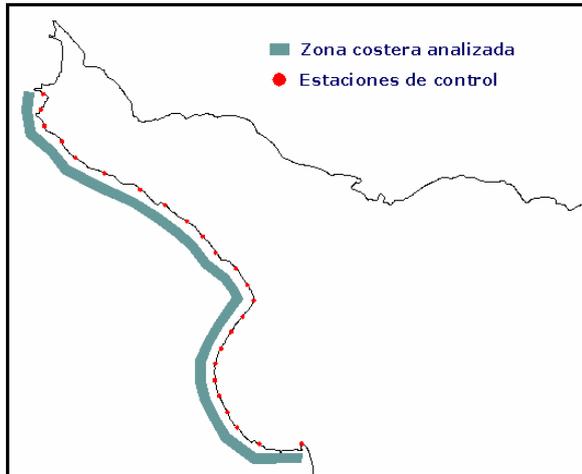
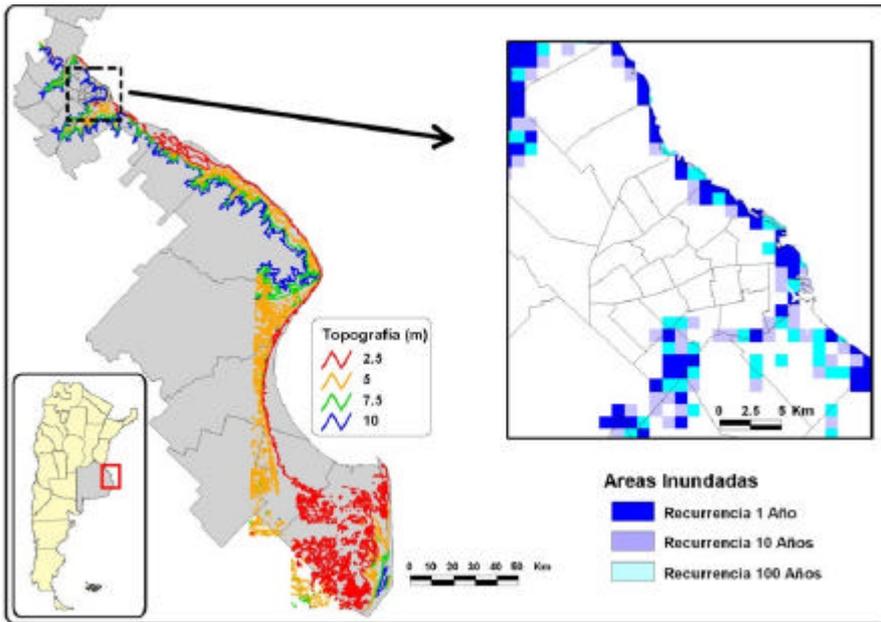


Figura 60 Estaciones de control para la construcción del mapa de riesgo

Utilizando las series de niveles máximos para tormentas de recurrencia 1, 10 y 100 años, en la Figura 61 se muestra un mapa de riesgo a título de ilustración. Con la información del nivel alcanzado y los datos topográficos costeros, allí se representa gráficamente la zona inundable adicional para cada crecida.





CIC

Figura 61 Mapa de Riesgo para Buenos Aires y alrededores

11 Modelos utilizados en pronóstico hidrológico operacional de grandes ríos: Experiencias en otros países

Muchas de las operaciones de pronóstico que conllevan la mayor significación económica y social se refieren a grandes ríos, donde el pronóstico depende esencialmente del traslado de la onda de inundación generada en la alta cuenca y en los tributarios. En general, un modelo de pronóstico complejo para traslación de ondas de inundación en grandes ríos se compone de tres módulos:

- Un modelo para pronosticar el traslado de la onda en el río principal
- Un modelo para pronosticar aportes desde los tributarios
- Un procedimiento para actualizar el pronóstico

En lo que sigue, se describen brevemente y se discuten algunos de los modelos operacionales que se utilizan en el mundo. Tal como se verá, la diversidad y alcance de los modelos es muy variada.

11.2 Modelos de traslación de ondas de inundación

Una primera categorización general de modelos de traslación de ondas de inundación es en modelos hidráulicos y modelos hidrológicos.

Los modelos hidráulicos surgen a partir de las ecuaciones básicas de la Mecánica de los Fluidos. Se distinguen tres tipos, en orden decreciente de generalidad (William & Cunge 1975):

- Modelo hidrodinámico*: Utiliza la forma completa de las ecuaciones de Saint Venant.
 - Modelo de la onda difusiva*: No considera los términos de inercia (bajo número de Froude).
 - Modelo de la onda cinemática*: No considera ni los términos de inercia ni los del gradiente de presiones (ondas muy largas).
- Los modelos hidrológicos parten de la ecuación de continuidad (conservación de la masa), pero producen el cierre a través de la incorporación de relaciones adicionales empíricas. Se distinguen los siguientes tipos:
- Modelo de Muskingum*: Plantea una relación lineal entre el volumen almacenado y el promedio pesado entre los caudales de entrada y salida (Nash 1959).
 - Modelo de cascada de reservorios lineal*: Plantea una relación lineal entre el volumen almacenado y el caudal de entrada (Kalinin & Miljukov 1958).
 - Modelo de cascada de reservorios no lineal*: Plantea una relación potencial entre el volumen almacenado y el caudal de entrada.
 - Modelo de traslado y atenuación*: Primero se efectúa un traslado rígido del hidrograma de entrada y luego se lo atenúa mediante una constante de almacenamiento del reservorio (USACE 1960).
 - Modelo de función de transferencia*: Plantea una relación entre entrada y salida mediante una función de transferencia lineal o no lineal.
 - Modelo de correlación*: Plantea una relación estadística entre entrada y salida.
 - Modelo de series de tiempo*: Plantea una relación entre la salida y una serie temporal de la entrada (Box and Jenkins 1976).

La diferencia entre los resultados obtenidos con el modelo y los valores medidos al momento del pronóstico, debido a las distintas fuentes de error, se corrige por medio de



CIC

variadas técnicas de corrección (procedimiento de actualización), que permiten entonces evitar ese error sistemático.

11.2 Una revisión de modelos utilizados en algunos países

En Australia se utiliza el modelo URBS para las cuencas de los ríos Fitzroy (150 mil km²), Burdekin (130 mil km²) y Cooper (200 mil km²). Opera desde 1990, y provee el nivel de agua y el caudal con un tiempo de pronóstico de 2 a 3 días (Serban et al. 2003). URBS está basado en un modelo hidrológico del tipo de Muskingum para el río principal y modelos hidrológicos conceptuales no lineales para los tributarios. Como técnica de actualización efectúa un escalamiento proporcional a la relación entre el hidrograma calculado y el registrado.

11.2.1 Asia

En la India se aplica el modelo MIKE11FF en las cuencas del Ganges (907 mil km²), Brhmaputra (583 mil km²) y Meghna (194 mil km²). Está operativo desde 1991, proveyendo niveles de agua a 3 días (Serban et al. 2003). MIKE11FF consta de un modelo hidrodinámico para el río principal y un modelo hidrológico determinístico, conceptual y concentrado (NAM) para los tributarios. La técnica de actualización consiste en la minimización de una función objetivo que tiene en cuenta separadamente los errores de amplitud y de fase.

11.2.2 Europa

La cuenca del Rhine (185 mil km²), en Alemania, se maneja con el WAFOS, que está operativo desde 1996, proveyendo niveles de agua a 2 días (Serban et al. 2003). WAFOS está constituido por un modelo hidrodinámico para el río principal y un modelo hidrológico determinístico, conceptual y concentrado (HBV) o un modelo de correlaciones múltiples para los afluentes. Los resultados del modelo se actualizan incorporando términos fuente artificiales de modo de lograr la igualdad entre observaciones y registros.

En Hungría, para la cuenca del Danubio (209 mil km²) se utiliza el modelo GAPI, que provee niveles de agua y caudales a 5 días (Serban et al. 2003). GAPI está basado en un modelo hidrológico de cascada de reservorios lineal para el río principal y el método del índice para los tributarios.

Para el mismo Danubio, pero en Rumania (800 mil km² de cuenca), se utiliza el modelo DANUBIUS, que opera desde 1987, proveyendo niveles de agua y caudales a 7 días (Serban et al. 2003). DANUBIUS consta de un modelo hidrológico de función de transferencia no lineal para el río principal y un modelo hidrológico determinístico, conceptual y semi-distribuido (VIDRA) para los afluentes. Para actualizar, se aplican factores de corrección que tienen en cuenta la pendiente del hidrograma, y que se calculan distinto para las ramas ascendente y descendente.

Para la cuenca del Ebro (150 mil km²), en España, se utiliza el modelo CAESAR, que provee caudales a 1 día (Serban et al. 2003). CAESAR es un modelo hidrológico del tipo Muskingum para el curso principal.

En Turquía se utiliza el modelo MUSKINGUM para la cuenca del Kizilirmak (64 mil km²), el cual provee caudales a 1 día (Serban et al. 2003). Obviamente, está basado en el modelo hidrológico de Muskingum.

En Uzbekistán de usa el RESERVOIR MODEL en la cuenca del Amudarya (465 mil km²), operativo desde 1985, que provee niveles de agua y caudales a 5 días (Serban et al. 2003). Está basado en un modelo hidrológico de cascada de reservorios no lineal.

11.2.3 Cuenca del Plata

4. Tema 3



CIC

Tal como se describió en otra sección, en la Argentina el Servicio de Alerta Hidrológica del INA utiliza el modelo EZEIZA V para el río Paraná, desde la presa de Yacyretá, y para el río Paraguay, desde Puerto Pilcomayo, el cual está operativo desde 1998, proveyendo niveles de agua a 5 días. El EZEIZA V es un modelo hidrodinámico. No hay modelos hidrológicos operativos para los tributarios.

11.2.3.1 Comisión Técnica Mixta Salto Grande

En Salto Grande, en términos generales los EHE en Salto Grande son las crecidas, que luego de ser operadas, generan evacuaciones de personas aguas abajo. Consecuentemente los indicadores cuantitativos son los caudales evacuados y los niveles en las ciudades aguas abajo. En presencia de un EHE, según lo indicado por las Normas de uso del agua y las de Operación de crecidas, la generación hidroeléctrica queda en segundo plano, pasando a ser un derivado de la operación de la crecida, cuyo objetivo es atenuar las consecuencias sociales y económicas, en las ciudades aguas abajo. No se encuentran cuantificados los impactos en las ciudades aguas abajo. Solo existen relaciones aproximadas y dinámicas, nivel vs. personas evacuadas. La estrategia, ya mencionada, es atenuar los efectos aguas abajo, utilizando volúmenes de reserva o sobreelevaciones en el embalse.

En Salto Grande se realizan todos los días, dos pronósticos hidrológicos con catorce días de alcance:

-Considerando precipitación futura nula, en las subcuencas.

-Incorporando al pronóstico anterior la precipitación cuantitativa (transformada en caudal) pronosticada por modelos climáticos, para los cinco primeros días de pronóstico.

En términos de pronósticos, se reciben pronósticos hidrológicos de los operadores privados de las Centrales hidroeléctricas de Ita y Machadinho, ubicadas en la alta cuenca del río Uruguay. Estos son elaborados por la Empresa Tractebel de Brasil, con una frecuencia diaria y semanal. Para las predicciones hidrológicas propia de Salto Grande, se utilizan todas las herramientas mencionadas, mas modelación hidrodinámica. Para correr los modelos, las variables fundamentales que se reciben son tres:

-Niveles. Lecturas provenientes de las prefecturas de Argentina y Uruguay. De la Gendarmería Nacional. De instrumental automático propio y de la ANA (Brasil). Se reciben en general vía e-mail, paginas web, teléfono y radio.

-Precipitaciones: lecturas provenientes de los servicios meteorológicos de ambos países. De la Gendarmería Nacional. Estaciones automáticas propias. Prefectura Argentina. INMET (Brasil).

-Evaluación espacial de las precipitaciones por subcuencas a partir de imágenes satelitales. Fuente NOAA (E.U.). Los métodos de transmisión son los mencionados en a).

-Evaporación. De los Servicios Meteorológicos de ambos países.

Las predicciones meteorológicas usadas provienen del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina y de la Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay, así como del CPTEC en Brasil, todo a nivel diario.

En relación a las debilidades del sistema de predicción usado, se usan resultados de un solo modelo hidrológico, y no hay acceso a la información hidrometeorológica del lado brasileño de la cuenca del Plata. Otras carencias son los errores en los pronósticos cuantitativos de precipitación son temporales y espaciales encontrándose todos los casos posibles. Se

esta realizando una evaluación, donde se esta determinando la tasa de acierto (llueve o no llueve), para pronósticos de 24, 48 y 72 horas. Esta tasa esta dando un valor superior al 75%, en un periodo todavía demasiado corto(10 meses).



CIC

Se evalúa adicionalmente la intensidad pronosticada entre dos modelos ETA-CPTEC y NCEP. Se ha realizado una evaluación de los pronósticos hidrológicos con precipitación pronosticada incorporada. En promedio los errores atribuibles a las precipitaciones pronosticadas son aproximadamente el 50% del error hidrológico medio total.

11.2.3.2 Entidad Binacional Yacyretá

Este es el organismo Binacional Argentino-Paraguayo, responsable por la explotación del Complejo Hidroeléctrico Yacyretá. Los pronósticos hidrológicos son internos, no se reciben. Los pronósticos climatológicos se utilizan para definir escenarios de oferta hídrica, a los efectos de configurar escenarios de energía disponible. También pueden servir para prever tendencias generales de comportamiento, en relación con eventos extremos, y su incidencia sobre diferentes actividades del Complejo. En este punto no se incluyen los pronósticos meteorológicos, necesarios para la operación diaria.

Con respecto a las actividades de la institución, y en particular en lo referente a la generación de energía, los eventos extremos implican siempre una disminución de los ingresos. Cuando los excesos son extremos, la pérdida está vinculada con la menor disponibilidad de salto bruto. Cuando los déficit son extremos, la pérdida está vinculada con la menor disponibilidad de caudal para turbinar. Yacyretá no es una central de regulación. Su volumen útil es despreciable frente al aporte del río. Por lo tanto no puede regular crecientes. En lo que a Yacyretá respecta, y al no tener capacidad de regulación, se considera que no hay impacto en este sentido, o sea, no hay influencia sobre terceros. Sin embargo, se mantiene contacto con OG's de ambos países vinculados con el alerta hidrológico de forma permanente, suministrando información relativa a caudales realizados y pronósticos de caudales.

Los plazos de predicción son diarios, dadas las características de Yacyretá y los requerimientos del Sector Eléctrico. Los pronósticos se extienden a varios días, siendo su confiabilidad, en cada período pronosticado, variable dependiendo de las distintas configuraciones que determinan la oferta hídrica (programación de las centrales hidroeléctrica aguas arriba, lluvias caídas, pronósticos de lluvia). Sin embargo, la realización de los pronósticos es diaria, y en casos especiales, de más de una vez en el día. Los pronósticos hidrológicos son propios. La predicción tiene en cuenta las descargas de las centrales hidroeléctricas aguas arriba, y la información de las cuencas no controladas, ya sea en forma de lluvia, o niveles hidrométricos en el río principal. Hasta el momento los modelos son de tipo estadístico, aunque se está implementando una complementación del sistema con modelación acoplada lluvia caudal e hidrodinámica. Los pronósticos meteorológicos que se consultan, vía Internet, provienen de las siguientes Instituciones: SMN (Argentina), INMET (Brasil), CPTEC (Brasil), SIMEPAR (Brasil), NCEP(USA).

En relación a fortalezas y debilidades del sistema de predicción, las mayores virtudes son flexibilidad y simplicidad. Debilidades: horizonte temporal con confiabilidad, lo cual depende de la información disponible, la cual a su vez incorpora sus propias incertidumbres. Una de las mayores carencias la necesidad de información numérica de grillas de los modelos de pronósticos de precipitaciones, a los efectos de alimentar los modelos lluvia caudal y de esta forma tener mayor información para la evaluación de escenarios de afluencias y por ende de estrategias operativas. De todas formas, los problemas más comunes que se observan tienen que ver con la estimación de la lluvia a caer y sus lugares. De todas formas, hay que tener en cuenta la escala temporal y geográfica de los pronósticos.

11.2.3.3 Sector Privado-Consultor Hidrólogo Eduardo Flamenco-Argentina

4. Tema 3



CIC

El consultor elabora Pronóstico estacional de derrames [en hm^3] en el río Paraná en Corrientes. En el mes de Marzo [año t] y Setiembre [año t] de cada año se calcula los pronósticos de volumen Abril – Setiembre [año t] y Octubre [año t] – Marzo [año t + 1], respectivamente. También elabora pronóstico con frecuencia trimestral del caudal medio trimestral entrante al embalse Yacyreta y Salto Grande. Estos se calculan en los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre [año t] y tienen un horizonte de 7 trimestres solapados (overlap) en adelante.

Los EHE pronosticados por el consultor son más a nivel estacional, en comparación con usuarios como Yacyreta, Salto Grande o Itaipú que requieren de predicciones diarias. Como estos pronósticos son caudales medios trimestrales, éstos son categorizados o clasificados en función de un análisis estadístico (función de distribución de probabilidad) considerando 5 categorías o quintiles para las probabilidades de excedencia del 20%, 40%, 60%, 80%. Es decir, una vez calculado para cada trimestre el pronóstico es posible establecer su régimen hidrológico, y si este superara la probabilidad de excedencia del 20% es posible que este pueda resultar en un evento extremo, más aún si ésta ocurriera en trimestres sucesivos. Si el volumen estacional, ya que si el pronóstico de éste superara un determinado umbral se estaría ante la posibilidad de inundaciones en las zonas de influencia del río Paraná.

La metodología usada por el consultor La metodología es propia y no ha sido obtenida o provista por terceros. Son modelos estadísticos lineales (Regresión Múltiple Lineal (step-wise) y no lineales (MARS: Multivariate Adaptive Regression Splines) donde el predictando es el caudal medio trimestral o volumen estacional y los predictores candidatos son: temperatura de la superficie del mar, presión a nivel del mar, índices de las regiones NIÑO1+2, NIÑO3, NIÑO3.4, NIÑO4, SOI (Índice de Oscilación del Sur), NAO (Oscilación del Atlántico Norte), PDO: Oscilación del Pacífico Norte. Se está evaluando desde hace meses atrás incorporar otros predictores, siendo éstos la altura geopotencial en diferentes niveles de la atmósfera, como así también variables vinculadas a la Actividad Solar. Las fuentes desde donde se obtiene la información son: SSRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos - Argentina), CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista – Argentina), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y NASA (National Aeronautics and Space Administration) – U.S.A. Sólo se consulta perspectivas estacionales de lluvias en: CPTEC (Centro de Previsión del Tiempo y Clima – Brasil), IRI (International Research Institute for Climate Prediction – U.S.A.), ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast).

La mayor debilidad del sistema es quizás la falta de otros indicadores globales del clima que ayuden a explicar en mejor medida la variabilidad de los caudales de los ríos citados, fundamentalmente en el río Uruguay. El tipo de datos que aun faltaría incorporar en la matriz de predictores, serían variables como altura geopotencial en diferentes niveles de la atmósfera y las vinculadas a la Actividad Solar.

En los tres ejemplos mencionados, una carencia común es que no hay estaciones hidrométricas de medición en los afluentes a los grandes ríos como el Paraná. En éstos últimos hay lecturas de escala a paso diario con lectura y comunicación convencionales. Las estaciones meteorológicas son muy escasas.

12. Métodos de predicción de inundaciones en grandes ríos

12.1 Experiencias en la Cuenca del Río Magdalena en Colombia

Colombia frente a la problemática de las inundaciones del Río Magdalena y sus afluentes ha venido, a través de un proceso de gestión directa de Estado, ejecutando acciones a través de diferentes instituciones (Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de



CIC

Agricultura, Corporaciones Autónomas Regionales - CVC, Empresas de Energía y Acueducto de Bogotá). Estas realizaciones han sido puntuales, aisladas y sin una estructuración integral y sistémica, basadas solo en obras estructurales sin participación de la comunidad.

El río Magdalena es el más importante de Colombia, situado en la parte céntrica del país atravesando de norte a sur la región Andina. Nace en el Páramo de las Papas en el Macizo Colombiano, en la laguna de la Magdalena localizada en el departamento del Huila y recorre al país de norte a sur en una extensión de 1.536 km, con un promedio de caudal de 7.100 m³/s. El área tributaria de la cuenca es de 257.000 km² que corresponde al 22.8% de la superficie total del territorio nacional. Su recorrido se inicia dentro un valle interandino ubicado entre las cordilleras Central y Oriental y su afluente mayor, el río Cauca, entre las cordilleras Occidental y Central. El río atraviesa el corazón económico del país, en donde se encuentran las regiones más ricas, abundante en recursos naturales y las mejores condiciones de desarrollo, como son las zonas más industrializadas, mejor infraestructura vial, las más importantes desarrollos hidroeléctricos y áreas de desenvolvimiento agrícola importante.

La cuenca del río Magdalena presenta toda una gama de condiciones hidrológicas y todas las clases de ríos conocida; esta situación se debe a su posición geográfica y su orografía en donde se localizan tres grandes cordilleras con sus altiplanos y grandes planicies aluviales. La red hidrográfica de la cuenca es abundante en donde se presentan todos los afluentes del río Magdalena con sus sistemas de ríos de origen torrencial y ríos de planicie que hacen que se presenten situaciones de crecientes o avenidas que van a producir inundaciones en sus zonas aledañas.

En la cuenca se puede establecer dos tipos de inundaciones de acuerdo al régimen de los cauces: inundaciones de tipo torrencial e inundaciones de tipo aluvial (de planicie).

Las inundaciones de tipo torrencial se originan en el área montañosa de toda la zona Andina correspondiente a la cuenca Magdalena-Cauca en donde existe una conformación topográfica abrupta, con fuertes pendientes, que durante los inviernos las grandes precipitaciones transforman en peligrosos los diversos cauces, lo que conlleva a una amenaza latente de crecidas que ocasionan desbordamientos en sus márgenes y la misma velocidad del agua puede producir grandes daños en zonas pobladas.

Otro fenómeno que está relacionado con las crecientes es el de las avalanchas, que son ocasionadas por deshielo o represamiento ocasionado por el taponamiento del cauce debido al deslizamiento de laderas en donde los suelos son inestables y no muy consolidados. El taponamiento provoca el embalsamiento de grandes volúmenes de agua y cuando la presa natural falla, estos volúmenes fluyen con gran fuerza aguas abajo produciendo erosión en las laderas con arrastre de piedras y sedimentos, causando por consiguiente grandes estragos y destrucción.

Estos fenómenos de origen torrencial son los más frecuentes en la cuenca durante las épocas de lluvias y los que producen las mayores pérdidas materiales y de vidas humanas. Las inundaciones de tipo de planicie son las que ocurren en las áreas bajas de los afluentes y en las zonas inundables incluyendo la depresión cenagosa del río Magdalena. Los valles del río Magdalena y de su afluente el río Cauca están sometidos a inundaciones de larga duración, como se mencionó en el aparte anterior; en donde las crecidas son más reguladas y no tienen una incidencia en la propia magnitud del caudal y solamente tienen importancia a las que obedecen únicamente a lluvias prolongadas dentro de la cuenca y obedecen a los períodos de invierno. Estas crecidas así producidas son inicialmente lentas y cuando exceden la capacidad del cauce y de los propios vasos amortiguadores como las ciénagas, se producen los desbordamientos inundando las zonas ribereñas.

4. Tema 3



CIC

El régimen de lluvias en la cuenca del río Magdalena es básicamente bimodal con eventos máximos en abril, mayo y octubre, noviembre. Los mayores caudales se presentan en el segundo período del año en donde se reduce considerablemente la capacidad de almacenamiento. El almacenamiento total de las zonas bajas con ciénagas se ha estimado en 40.000 millones de m².

En Colombia, como consecuencia de avenidas, inundaciones y otros eventos hidrometeorológicos extremos, se registran anualmente pérdidas materiales por valor en promedio de 35 millones de dólares, más de 65000 personas damnificadas y alrededor de unas 150 de vidas humanas perdidas. Las estadísticas indican que las pérdidas podrán alcanzar unos 70 millones de dólares y 230 víctimas en promedio una vez cada 20 años. La cuenca Magdalena-Cauca son las área más vulnerables del país, contando el 90% de los daños y el 70% de pérdida de vidas humanas. Además, las actividades agrícolas, la industria manufacturera y el aprovechamiento de los recursos hídricos, padecen grandes pérdidas materiales indirectas.

En el año de 1994, las inundaciones produjo pérdidas cercanas las 8.000 viviendas y más de 250.000 personas damnificadas que corresponde al 47.5% y el 80.7% respectivamente, del total producido por otros eventos de carácter catastrófico. Esto demuestra que las inundaciones son el evento más importante dentro la afectación a la economía del país. Ver Tabla 14

Tabla 14. Pérdidas por inundaciones en Colombia

ANO	US\$ x 10 ³
1964	20.444
1965	11.861
1966	30.944
1967	35.653
1968	15.903
1969	8.375
1970	39.170
1971	182.182
1972	10.343
1973	104.608
1974	30.889
1975	54.131
1976	65.132
1977	74.529

12.1.1 Medidas de Mitigación en la Cuenca del río Magdalena

La experiencia en Colombia muestra dentro de la cuenca del río Magdalena, algunos proyectos localizados de control de inundaciones y representa un porcentaje bajo, respecto a la magnitud del problema de las inundaciones en la Cuenca Magdalena-Cauca. Estos proyectos realizados se diseñaron con el criterio de dar soluciones únicamente con obras estructurales de defensa, que en algunos casos dieron resultados parciales.

4. Tema 3



CIC

Control de inundaciones en la Sabana de Bogotá. La Sabana de Bogotá es un altiplano que se encuentra a una altura de 1.650 metros sobre el nivel del mar y pertenece a la cuenca del río Bogotá, afluente del río Magdalena; en ella se encuentra la ciudad capital de Colombia, Santa Fé de Bogotá.

Antes de 1950 se presentaban frecuentemente inundaciones en la Sabana de Bogotá y varias de ellas de gran magnitud, las cuales anegaban grandes extensiones de tierras cultivables y zonas urbanas de las poblaciones de Fontibón, Punza, Mosquera, y al norte del puente del Común.

En 1921 se iniciaron los estudios de control de inundaciones debido a los desbordamientos constantes del río Bogotá. La primera obra que se concibió se denominó Sistema de la Ramada la cual se construyó por cobro de valorización en el año de 1926. Esta obra consistió en una esclusa situada aguas arriba del puente del ferrocarril del occidente la cual funcionó elevando el nivel del agua de tal manera que facilitaba el llenado de las ciénagas o humedales y los canales de riego. Como complemento del sistema se construyeron dos estaciones de bombeo.

El sistema de la Ramada cuya función fue permitir el riego para 1.000 hectáreas, también fue proyectada para evitar las inundaciones en el área, logrando que el río Bogotá represara los humedales en las crecientes.

Otra medida para lograr un mejor control de las inundaciones fue la construcción de los embalses del Neusa y Sisga en los años de 1951 y 1952, sobre los afluentes más importantes regulando sus cuencas aferentes; en el año de 1962 entró a operar el embalse de Tominé el cual regula los caudales del río que la conforma y por un sistema de bombeo se toma el agua del río Bogotá para colocarla en el propio embalse y de esta manera controlar la zona alta de la cuenca. (Figura No. 1).

Además de las obras anteriores se construyeron jarillones o diques en las dos márgenes del río para dar más capacidad al cauce aumentando el almacenamiento y así evitar los desbordamientos en las grandes crecientes.

Con las obras antes mencionadas se ha logrado un control casi total de las crecientes; sin embargo faltan algunas obras adicionales de control en algunos afluentes como son en los ríos Teusacá, Tunjuelito y Subachoque.

12.1.2 Alertas Hidrometeorológicas en la Cuenca del río Magdalena-Cauca

Desde finales de la década de los 70 se dieron los primeros pasos para el establecimiento en Colombia de una Red de Alertas hidrometeorológicas, bajo la asesoría de una misión canadiense la cual después de análisis minuciosos, recomendó iniciar la observancia sobre el comportamiento de los principales parámetros que inciden en las variaciones del tiempo y de los niveles de algunas estaciones de los ríos a lo largo de la cuenca Magdalena-Cauca.

La Red de Alertas hidrometeorológicas se basó inicialmente, en la instalación de una serie de radios para transmisión vía HF con centros especiales de acopio, de acuerdo con las características topográficas de nuestro territorio, y se inició el apoyo de las actividades propias del programa, gracias a la colaboración de algunas instituciones del orden nacional, regional y local tanto públicas como privadas, las cuales suministraban y siguen suministrando información diaria por teléfono o fax. Las experiencias logradas a través del ejercicio operativo de la red, permitieron establecer dificultades de seguimiento de los fenómenos extraordinarios en el momento oportuno pero facilitaron el mejoramiento sobre el conocimiento de algunas técnicas de observación y comunicación.

12.1.3 Red actual

4. Tema 3



CIC

La aplicación de nuevos métodos de análisis y el acceso a tecnologías mejoradas han permitido al país avanzar en exactitud y oportunidad de los sistemas de prevención, gracias a la obtención permanente de datos en tiempo real y de imágenes periódicas que nos informan sobre el comportamiento atmosférico e hidrológico.

En la actualidad el IDEAM cuenta con 65 estaciones automáticas que transmiten información hidrológica y meteorológica durante las 24 horas del día, dos de las cuales son sobre aspectos mareográficos en el Pacífico; 20 estaciones distribuidas en la Sabana de Bogotá y tres en el altiplano nariñense para detección de heladas, mediante las cuales se recibe información por teléfono y radio. Se cuenta además con 30 observatorios meteorológicos para mediciones en superficie, cinco observatorios para la medición de la alta atmósfera, enlace con un sistema mundial de telecomunicaciones meteorológicas y una estación terrena para recepción de imágenes satelitales meteorológicas en baja resolución.

En la cuenca Magdalena-Cauca se han instalado hasta la fecha 59 estaciones automáticas dotadas de plataformas para transmisión por satélite distribuidas así.

Entidad	Plataformas
CVC	30
Betania	17
Hidroprado	3
IDEAM	8
CARDER	1

Las actividades del programa de alertas están concentradas en dos subprogramas: el subprograma de Recepción de Información y el Subprograma de Análisis y Aviso.

Las funciones generales del Subprograma de Recepción de Información es velar por la adecuada recolección, recepción y procesamiento de la información. Su desenvolvimiento debe desarrollarse en las mismas instalaciones en donde se encuentre el Subprograma de Análisis y Aviso.

Las funciones específicas del programa son:

- Efectuar la vigilancia durante 24 horas del día no solo de los parámetros indicadores de riesgo y amenaza que señale el subprograma de Análisis y Aviso, sino respecto a la buena marcha de los equipos de computo y de los instrumentos de campo a través de los cuales se efectúa la compilación de la información.
- Mantener al día los registros estadísticos tanto de los parámetros hidrometeorológicos como de las transmisiones recibidas bien sea de radio HF, teléfono o satélite (Temporizada St o Aleatoria Rr).
- Efectuar el cálculo diario de la efectividad del sistema de satélite (recibidas Vs. esperadas), número de transmisiones aleatorias, movimientos del satélite, pérdidas de fase o contacto, cambios en la operatividad del sistema y salidas de emisión de cualquier tipo, dificultades de software, etc.
- Efectuar evaluaciones diarias de la información recibida de la red de radios teniendo en cuenta su continuidad, eficiencia, oportunidad y exactitud.
- Mantener actualizada una base de datos incluyendo información de los tres tipos: Satélite, HF y teléfono.
- Obtener, tabular y graficar la información en tiempo real a intervalos de cuatro horas y según lo determine el Subprograma de Análisis y Aviso.



CIC

· Mantener informado permanentemente al Subprograma de Análisis y Aviso sobre el comportamiento de los patrones hidrológicos y meteorológicos, y advertirle sobre la presencia de fenómenos extraordinarios.

· Seguir las instrucciones y atender las solicitudes que le demande el Subprograma de Análisis y Aviso.

Las funciones generales del Subprograma de Análisis y Aviso es analizar la información recibida del Subprograma de Recepción de la Información, efectuar el análisis estadístico en tiempo y espacio, producir el pronóstico por medio de modelos hidrológicos, asumir acciones respecto a Alertas según lo demande la evolución de eventos extraordinarios, producir los comunicados respectivos y mantener contacto directo con la Dirección Nacional para la Atención y Prevención de Desastres.

Las funciones específicas son:

· Diseñar la expansión y ampliación de la red de estaciones de acuerdo a los requerimientos
· Definir políticas en materia de uso, intercambio y manejo de la información de la Red de Alertas.

· Actualizar y mantener al día el Archivo Maestro.

· Interpretar los informes de diagnóstico de la información Automática y contribuir a la programación de las actividades de campo, tendientes a identificar la ubicación de plataformas DCP y las demás que demanden las circunstancias inherentes al programa.

· Impartir instrucciones al Subprograma de Recepción de Información sobre la observación en temporada especial o en situaciones inminentes de eventos extraordinarios de inundaciones.

· Efectuar el análisis en tiempo y espacio mediante el manejo de series estadísticas y otros de carácter físico.

· Elaborar Comunicados Especiales en tiempo de riesgo inminente e informar constantemente a la Dirección Nacional para la Atención y Desastres sobre el estado del río cuando está en observación especial.

· Ejecutar e interpretar los modelos de pronóstico hidrológico y mediante sus resultados en un evento extraordinario, emitir los informes correspondientes.

· Verificar la calibración de los modelos de pronóstico.

12.2 Métodos de predicción de inundaciones en los Estados Unidos de Norte América

El proceso de emitir predicciones y alertas de inundaciones de buena calidad y con tiempo suficiente para tomar alguna acción es extremadamente complejo, y requiere de simulaciones de modelos hidrológicos que puedan predecir descargas de ríos basados en predicciones de la distribución espacial y temporal de la lluvia. Estas simulaciones permiten al hidrólogo o analista de considerar condiciones actuales y del futuro en relación a lluvias y descargas, dependiendo de la frecuencia de las informaciones de predicción de lluvia como variable de entrada. Varias etapas críticas interligadas son requeridas para mitigar y reducir pérdidas de vidas y daños debido a las inundaciones en el sector público, incluyendo: la colección, organización y análisis de diferentes tipos de información; formulación de predicciones adecuadas y alertas basados en la información disponible; y la emisión de los alertas a los órganos que tienen que ver con declaración de emergencias (ejemplo, La Defensa Civil) y al público en general. Muchos países aún usan métodos diseñados para predicción de tempestades en la estimación de probabilidades de inundaciones, pero debilidades de estos métodos fueron aparentes cuando se usan para evaluar y considerar complejas estrategias para mitigación de inundaciones (Fattorelli et al., 1999). Varios países están usando sistemas más avanzados para simulaciones continuas basada en complejos modelos hidrológicos que producen registros históricos de descargas, y por ende,



CIC

probabilidades de distribución continua de descargas pico. Estas simulaciones permiten incluir más explícitamente varios factores relevantes a la predicción de descargas y las estrategias relevantes a la mitigación (Fattorelli et al., 1999).

Los Estados Unidos poseen uno de los más avanzados sistemas integrados a nivel nacional, incorporando modelos hidrológicos e hidráulicos para predecir cotas y descargas de ríos en muchos puntos de los 48 estados, incluyendo Alaska y Hawaii. En el Reino Unido, el sistema de predicción es más diversificado, usando una variedad de sistemas de modelos hidrológicos para la predicción de descargas. Sin embargo, existe una tendencia actual de crear un sistema nacional de predicciones más consistente y con una sola plataforma común para las varias regiones del Reino Unido. Los franceses también están en el medio de un proceso de crear un sistema nacional e integrado de descargas, dejando de lado la idea de centros independientes y separados de predicción dentro del mismo país. En este documento se analizará los sistemas de predicción de descargas en sistemas de grandes ríos en los Estados Unidos y el Reino Unido.

12.2.1 Sistema de predicción en los Estados Unidos

Impactos estimados asociados al estado del tiempo y clima en los Estados Unidos pueden llegar a los de \$2.2 trillones por año (NOAA, 2001). Una gran parte de este total constituye el costo asociado a los eventos hidrológicos, especialmente inundaciones o sequías extremas. La Figura 62 muestra los costos estimados de las inundaciones en los Estados Unidos desde 1971 a 2000. Las inundaciones de 1993 en la cuenca del Río Mississippi fueron especialmente impactantes, en términos económicos y pérdidas de vidas (aproximadamente \$20 billones). Durante los últimos 20 años, los Estados Unidos han experimentado 49 desastres asociados al estado del tiempo (NHWC, 2002). Un fenómeno reciente fue la tempestad tropical Allison que afectó Estados Unidos en Junio de 2001 y que provocaron la muerte de 41 personas y pérdidas económicas estimadas en \$5 billones de en el estado de Texas (NHC, 2001). El Servicio Meteorológico Nacional (The National Weather Service NWS) fue designado por el congreso de los Estados Unidos para proveer de predicciones de tiempo y hidrología, así como predicciones climáticas y emisión de alertas en todo el país. El NWS pertenece a la National Atmospheric and Ocean Administration (NOAA), y provee de predicciones hidrológicas para aproximadamente 4000 puntos en el país, usando un sistema centralizado de modelaje hidrológico y banco de datos.



CIC

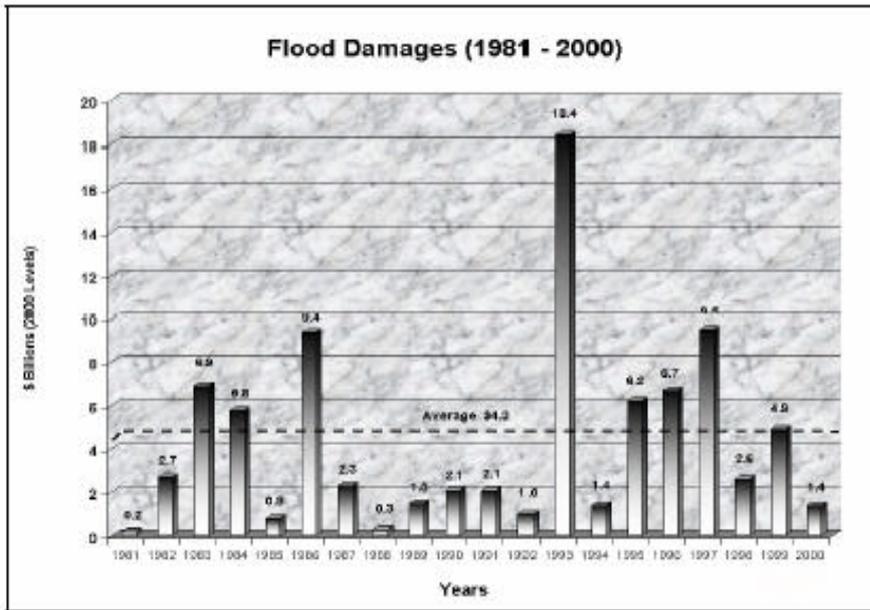


Figure 62. U.S. flood damages and loss of life from 1981 to 2001 (NHWC, 2002).

Trece Centros regionales de predicción de ríos (River Forecast Centers RFCs) (Figura 63) proveen predicciones hidrológicas en la región de su responsabilidad para altura y tiempo de ocurrencia de una onda de crecida, tiempo en que el nivel del río sobrepasa la altura máxima de alerta, y el tiempo en el que el río retorna a sus condiciones de flujo normal. Información para correr estos modelos de predicción provienen de varias Fuentes: el network observacional del NWS, el Cuerpo de Ingenieros del Ejercito (U.S. Army Corp of Engineers USACE), El Servicio Geológico (U.S. Geological Survey USGS), El Bureau de Tierras (U.S. Bureau of Reclamation) y varias agencias municipales y estatales. Sin embargo, para predicción de muy corto tiempo, la precipitación es fundamentalmente la principal variable de entrada para los modelos, y esta información proviene de varias agencias dentro de la NOAA, como por ejemplo el National Centers for Environmental Prediction NCEP). Los RFCs del NWS son responsables por la elaboración diaria de predicciones del nivel de ríos con tiempos de antecedencia que van de algunas horas a varias semanas. Los RFCs no emiten directamente las predicciones al público, pero distribuyen sus productos a los tomadores de decisiones y agencias federales, incluyendose entre estos las Oficinas de Predicción de tiempo del NWS (WFOs). Las WFOs, son aproximadamente 250 en los Estados Unidos, y son los responsables por la emisión de advertencias y alertas de inundaciones según las predicciones de nivel de los ríos recibidos de de los RFCs. Además de las predicciones diarias de nivel de los ríos realizadas por los RFCs, predicciones de reserva y suministro de agua para largo y mediano plazo son generados por varios RFCs, especialmente en el oeste del país, para suministro de agua de los reservorios que proviene de la escorrentía asociado al derretimiento de hielo durante la primavera. Alertas sobre inundaciones intensas (flash flood warnings) debido a eventos intensos de lluvia en corta



CIC

duración son típicamente emitidos por las sedes regionales de WFOs usando lluvias estimadas por radar, y también emiten información para el público explicando las alertas.

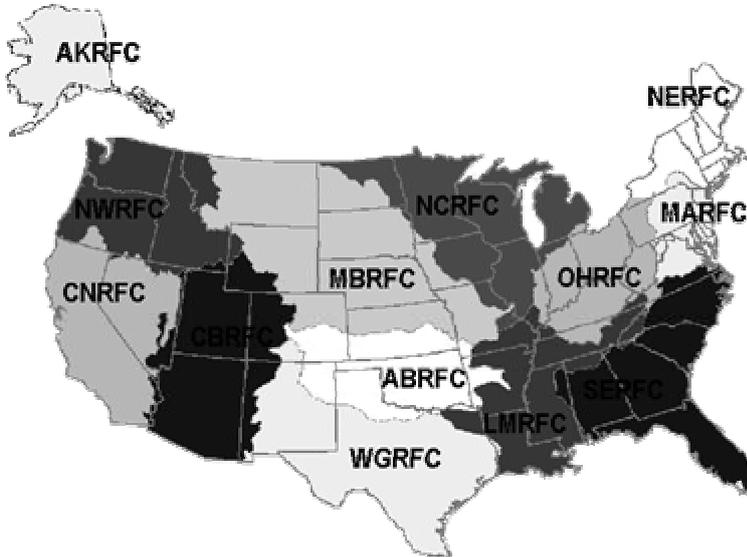


Figure 63. The thirteen River Forecast Centers (RFCs) of the National Weather Service and their areas of responsibility.

Las predicciones del NWS son consideradas extremadamente efectivas en la reducción de daños debido a inundaciones en el país. Alertas preventivos con hasta una hora de antelación determinan un ahorro al país de hasta \$1.62 billones por año. Sin embargo, se estima que mejoras en las predicciones hidrológicas pueden llevar a un ahorro adicional del orden de \$243 millones por año en costos asociados a inundaciones, así como un ahorro adicional de \$523 millones en otras áreas de recursos hídricos, como son la generación de energía hidroeléctrica, riego, navegación, y suministro de agua (NHWC, 2002). Una meta del NWS es también una reducción drástica en pérdida de vidas debido a inundaciones. Después de los desbordes del Río Mississippi en 1993, el NWS comenzó un programa conocido como Sistema de Predicción Hidrológico Avanzado (Advanced Hydrologic Prediction System AHPS), que sería capaz de producir predicciones hidrológicas con tiempos de antelación de varios días hasta varios meses. La visión estratégica del AHPS involucra producir mejores predicciones de clima, tiempo, e hidrológicas para sus clientes, usando las técnicas más avanzadas para emitir sus productos, de una manera más efectiva en términos de costo y tiempo. El AHPS va a proveer una interfase interactiva con los tomadores de decisiones, en tanto que también se van a proveer predicciones más acertadas de Alturas de ríos y potencial de inundación, así como predicciones probabilísticas en plazos más largos y mapas de inundaciones (NHWC, 2002).

12.2.2 Sistema de Predicción del NWS

El sistema de predicción de ríos del NWS (he National Weather Service River Forecast System NWSRFS), usado en los 13 RFCs, se basa en un software integrado que



CIC

consiste en más de 400,000 líneas de código, y cientos de programas y sub-rutinas interligadas que conducen las varias operaciones de descargas de ríos y predicción de niveles (NWSRFS, 1999). El sistema fue originalmente diseñado para correr en un servidor HP, pero el NWS está actualmente cambiando para el sistema operacional Linux. La estructura general del RFC incluye un sistema de calibración (CS), un sistema operacional de predicción (Operational Forecast System OFS) y un sistema de predicción extendida de descargas (Extended Streamflow Prediction ESP) (Figura 64). El NWSRFS es un sistema modular que permite al hidrólogo de seleccionar de un grupo de modelos considerados apropiados para la hidrología de la región. Los modelos pueden ser usados para simular acumulación de nieve y ablación, calcular descargas, distribuir la descarga de la cuenca al punto de observación y mover las descargas en un sistema hidrográfico, tipo "routing", en el canal principal y canales secundarios, y a través de reservorios. Los dos principales modelos de lluvia-descarga usados actualmente en RFCs son el Sacramento Soil Moisture Accounting Model (SAC-SMA), usado en la mayoría de los RFCs y el modelo de Antecedent Precipitation Index (API).

El sistema de calibración es usado para procesar información meteorológica histórica y estimar parámetros para partes específicas del modelo de predicción de ríos. El método más usado y tradicional para calibración en el NWS involucra procesamiento "manual" que es basado en la experiencia del hidrólogo, y que permite ajustar los parámetros para mejorar la respuesta del modelo, basado en la inspección visual de los hidrogramas observados y simulados. El hidrólogo va a intentar típicamente de reproducir los picos del hidrograma (cantidad y tiempo), volumen de la inundación, curvas de recesión y el flujo base. Esta aproximación requiere de mucha experiencia y entrenamiento, es muy trabajosa y requiere de mucho tiempo, especialmente porque numerosos parámetros que interactúan entre si requieren de ajustes. Un entendimiento bastante detallado del modelo, la cuenca y de la interpretación de los datos históricos es necesario para producir resultados realistas y consistentes. Cada año, el NWS organiza y conduce varios workshops para entrenar a los hidrólogos operacionales en los procedimientos de calibración necesarios para los modelos del NWSRFS. El sistema CS también ofrece un paquete de sistemas de algoritmos de optimización que pueden ser usados en la estimación de los parámetros en los modelos del NWS (random search, shuffled complex evolution SCE-UA, y pattern search). Una vez que el modelo ha sido calibrado para una cuenca, ya puede ser usado para predicción de descargas y nivel de ríos, usando información hidrometeorológica en tiempo real. El OFS tiene tres componentes principales para la predicción operacional de descargas de ríos: entrada de datos, pre-procesamiento y predicción. La entrada de datos contiene un conjunto de programas que transfiere la información de varias fuentes para un banco de datos observacionales. El pre-procesamiento lee la información de los datos en bruto y tratando de completar en lo posible datos faltantes y luego estima la media areal con o series de tiempo de precipitación (MAP), temperatura (MAT) y evaporación potencial para cada cuenca. Estas series de tiempo son utilizadas como entradas en la componente de predicción (modelos) para producir simulaciones hidráulicas e hidrológicas. La componente de predicción también almacena información específica de cada uno de los parámetros en la cuenca así como la conectividad del río y sus tributarios. La componente ESP del NWSRFS permite que los hidrólogos del RFC puedan hacer predicciones probabilísticas extendidas de descargas y otras variables hidrológicas.



CIC

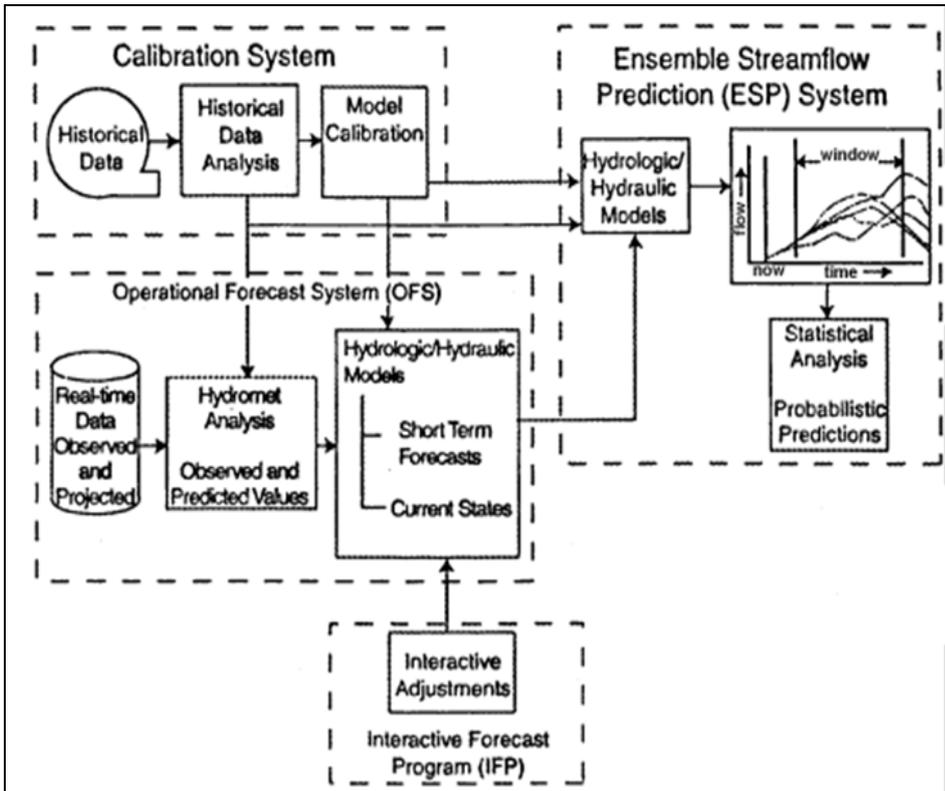


Figure 64. Schematic representation of the National Weather Service River Forecasting System (NWSRFS).

12.2.3 Datos y Predicciones Climáticas del NWSRFS

El NWS tiene un sistema centralizado para predicciones climáticas que son usados para forzar modelos hidrológicos regionales que son usados para predicción de descargas. El Centro de Predicción Hidrometeorológica (Hydrometeorological Prediction Center HPC) del NCEP, que también es parte de la NOAA, provee de predicciones de tiempo e corto plazo para todos los Centros de Predicción de Ríos del NWS. El NCEP produce diariamente predicciones cuantitativas (Quantitative Precipitation Forecasts QPFs) que son enviados a los RFCs dos veces por día y que proveen a las oficinas regionales con una visión general de las cantidades de lluvia y las áreas en las que esta cae. NCEP corre el modelo atmosférico GFS con una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ y 64 niveles en la vertical. Inscrito en el modelo global tenemos el modelo regional ETA que corre con una resolución de 32 km, y 45 niveles en la vertical sobre los Estados Unidos. Predicciones de lluvia con hasta 84 horas de antecedencia son producidos 2 veces por día (12 Z y 0Z). Las predicciones son hechas con incrementos de 6 horas y son enviadas a las diferentes localidades de cada RFCs. Estos estimados a nivel puntual son ajustados por los meteorólogos encargados de la predicción de tiempo en los RFCs y luego son transformados a nivel de puntos de grilla. Estos



CIC

estimados en punto de grilla son luego promediados e integrados a nivel de mapas de la cuenca y que servirán como datos de entrada para los modelos hidrológicos del NWSRFS. Los RFCs también reciben predicciones de temperatura de hasta 5 días, que son de gran importancia para la predicción de nieve en regiones montañosas de los Estados Unidos.

12.2.4 Modelos

12.2.4.1 Modelo de Humedad del Suelo

La última decada fue testigo de la implementación del Modelo de Sacramento para Humedad del Suelo (Sacramento Soil Moisture Accounting Model SAC-SMA) como una de las primeras aproximaciones de la relación lluvia-descarga. De los 13 RFCs, solamente un centro, el de la región Mid-Atlantica (MARFC) usa el Índice de Precipitación Antecedente (Antecedent Precipitation Index API) método como el modelo hidrológico primario. Este SAC-SMA es un modelo conceptual continuo de lluvia-descarga que usa un modelo de humedad de suelo de 2 capas de suelo que incluye el flujo de humedad a través de la superficie. La capa más superficial representa los tipos de suelo y la capacidad de intercepción, en tanto que la capa inferior representa los niveles más profundos que normalmente contienen la mayor parte de la humedad de suelo y agua subterránea almacenada (Brazil y Hudlow, 1981). Percolación de agua desde los niveles más superficiales a los más profundos es controlado por un complejo de procesos no lineales que dependen del contenido de agua en la parte más alta e en las deficiencias en la representación en la capacidad de almacenamiento en los niveles más profundos. Cuando la lluvia es mayor que la intercepción y percolación, la capa superficial de satura y comenzará un flujo de escurrimiento superficial. El modelo tiene 16 parámetros juntamente con una curva de demanda evapotranspirativa anexa (o una curva de ajuste). Un hidrograma unitario es luego usado para convertir el flujo dentro del canal en descarga. Variables de entrada incluyen precipitación areal (MAP) en mm/6 hr y evapotranspiración potencial en mm/day. Salidas del modelo son evapotranspiración (mm/day) y el flujo dentro de los canales. El hidrograma unitario, específico para cada punto de observación, es usado para convertir el nivel del flujo (del río) en descarga. La Figura 65 ilustra la estructura del SAC-SMA y de los diferentes parámetros que controlan la infiltración, y el flujo superficial y sub superficial en el canal de entrada.



CIC

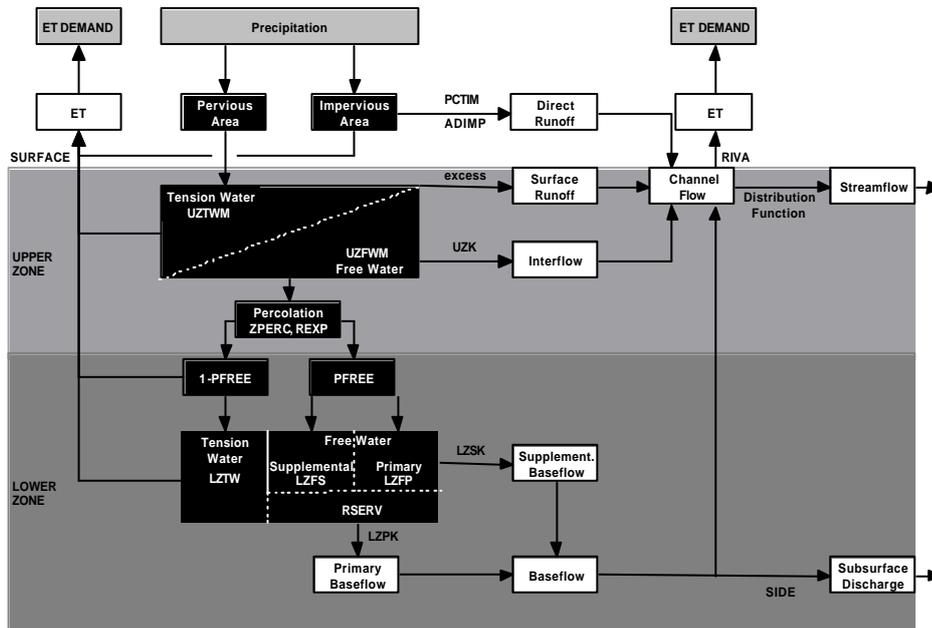


Figure 65. Sacramento Soil Moisture Accounting Model (SAC-SMA).

12.2.4.2 Modelo de nieve

Varias regiones de los Estados Unidos tienen importante acumulación de nieve durante el invierno, incluyendo las regiones montañosas del país, las planicies del norte y el extremo norte de la región Nordeste. El NWS usa el modelo SNOW-17 (Anderson, 1973), que incluye un método que considera índices de temperatura que simula el balance de energía de una capa de hielo (snowpack) y que modela la acumulación y ablación de la cobertura de nieve. El modelo SNOW-17 modela el intercambio de energía entre la superficie de nieve, el almacenamiento y déficit de energía dentro de la capa de hielo, la retención de agua y el transporte a través de la capa de nieve, y el intercambio de calor a nivel de superficie (Anderson, 1973). El modelo usa una curva de de agotamiento areal que permite estimar el contenido de nieve en la cuenca y subsecuentemente determinar lluvia sobre nieve o lluvia sobre superficie de suelo desnudo. Entradas en el modelo SNOW-17 incluyen MAP (mm/6 hr) y temperatura media areal (MAT) (°C/6 hr o °F/6 hr). Salidas incluyen series de tiempo de lluvia de nieve derretida (mm/6 hr) y equivalente de agua derretida (Snow Water Equivalent SWE) (mm) de la capa de hielo. Cuando el modelo es usado juntamente con el SAC-SMA, entradas del SAC-SMA son la lluvia derretida que es la salida del modelo SNOW-17. El modelo tiene 12 parámetros, y seis de ellos son considerados los más importantes y los otros seis son menores.

12.2.4.3 Centros de Predicción de Ríos

4. Tema 3



CIC

Cada RFC dentro del NWS tiene un número diferente de puntos o puestos donde la predicción es hecha así como su responsabilidad. Como ejemplo, un RFC típico es el Centro de Predicción de Ríos in the North Central USA (NCRFC) y este ejemplo es usado para ilustrar operaciones dentro de un RFC. La región NCRFC es una de las mayores regiones de predicción de ríos en el NWS, y que contiene más de 850 cuencas, y 450 puntos oficiales de predicción. La predicción incluye 32 sistemas de ríos dentro de la cuenca del Alto Mississippi, el Río St. Lawrence, y parte de la cuenca en la Bahía Hudson. El NCRFC provee de predicciones hidrológicas y servicios a los NWS WFOs, y agencias federales y estatales, así como organizaciones privadas relacionadas al uso de agua. Los modelos de ríos del NWSRFS son usados para similar condiciones hidrológicas y niveles de agua para algunos ríos escogidos (ríos, quebradas, etc), lagos y reservorios en la región. Los modelos SAC-SMA y SNOW017 en el NCRFC usan precipitación y temperatura de más de 4,000 puestos de observación, y predicciones cuantitativas de lluvia (Quantitative Precipitation Forecasts [QPFs](#)) generados por el NCEP son usados para producir predicciones hidrológicas en esta región. Predicciones de temperatura son también variables de entrada para determinar el tipo de predicción de precipitación y calcular escorrentía derivada de derretimiento de hielo de nieve acumulada durante el invierno. Predicciones hidrológicas son producidas usando datos del modelo de ríos e incluyen predicciones de ondas de crecida, valores de nivel de ríos en puestos de observación escogidos, y predicciones de ríos e más largo plazo para propósitos de navegación. Predicciones de derretimiento de nieve durante la primavera son preparadas al final del invierno e inicios de la primavera para identificar el potencial de inundaciones durante la primavera asumiendo condiciones normales de derretimiento. Un guía de inundaciones intensas ([Flash Flood Guidance](#)) es preparada por el NWS WFOs para uso en la emisión de alertas de inundaciones intensas en muy corto plazo en respuesta a lluvias intensas. Este guía se basa en valores de intensidad del radar NEXRAD para la mayor parte de la región.

12.3 Métodos de predicción de inundaciones en el Reino Unido

La Agencia Ambiental (EA) produce predicciones de inundaciones en todas las cuencas en las regiones de Inglaterra y Gales. La EA ha sido la principal autoridad con énfasis en un sistema de de alertas de inundaciones centralizado desde que la agencia tomó esta responsabilidad de la Autoridad Nacional de Ríos en 1995 (Haggett, 1998). En 1996, el Primer Ministro dirigió la agencia para “analizar procedimientos de alertas a inundaciones, y en consulta con autoridades locales y los servicios de emergencia para mantener planos por escrito de los procedimientos de alertas” (Haggett, 1998). La agencia tiene cerca de 8000 personas trabajando con presupuesto anual de £560 millones y ofrece predicciones de inundaciones en una grande variedad de cuencas, variando entre pequeñas cuencas urbanas de 50 km² a grandes cuencas como la del Río Támesis con más de 50 000 km² (Haggett, 1998). La EA ha estado mejorando las predicciones d ríos y los alertas continuamente desde 1996. Sin embargo, estas iniciativas recibieron nuevos impetus como consecuencia de las inundaciones de Pascua 1998. Inundaciones severas que ocurrieron en 1998 mostraron deficiencias en la habilidad de la EA para proveer predicciones mas acertadas y emitir alertas a tiempo. Mejoras en estas áreas han recibido prioridad, y la performance de la EA durante las inundaciones de Otoño de 2002 fue evaluada como muy efectiva y acertada. Hay que reconocer que dentro de la EA hay todavía mucho que hacer para mejorar los procesos de alerta y reducir los riesgos de aquellos que viven o trabajan en áreas sensibles a inundaciones en el futuro.

12.3.1 Sistema de Predicción de la EA

4. Tema 3



CIC

La organización actual de la EA (desde 2000) consiste de 8 Oficinas Regionales (Figura 66) que colectan y procesan datos de predicciones y los transforman en productos de predicción: Región Noreste (Yorkshire), región Midlands, región de Anglia, región del Támesis, región del Sudoeste, Región de Gales y la región Noroeste (DEFRA, 2002). En general, este sistema es muy similar a la estructura regional del los Estados Unidos. Las predicciones generadas en cada región son diseminadas a las 26 Oficinas Regionales las que son responsables por crear e implementar sistemas de alerta en sus regiones (Khatibi, 2004). La EA mantiene más de 1000 puestos telemétricos hidrológicos y más de 6000 puestos telemétricos de lluvia, que colectan datos cada 15 minutos, que proveen a la EA con datos. La EA también tiene una fuerte asociación con el Servicio Meteorológico Inglés (UK Met Office) para recibir datos de predicciones, incluyendo precipitación y temperatura, así como onda y viento. La EA también recibe una variedad de productos de radar de las redes del Reino Unido y de Europa (Haggett, 1998).



Figure 66. The eight Forecast Regions for the Environment Agency (EA) of the United Kingdom.

Existe una diferencia significativa entre Estados Unidos y el Reino Unido es la falta de un marco de referencia similar de modelaje entre las regiones de predicción. Actualmente, cada región en el Reino Unido usa un modelo hidrológico que según los hidrólogos regionales y usuarios puede satisfacer sus necesidades. Estos modelos varían desde modelos empíricos simples (como son los API) hasta modelos tipo "blackbox" o modelos conceptuales de lluvia-descarga, como es el Modelo Conceptual del Río Támesis (Thames Conceptual Model-DEFRA, 2002). Cada región usa su propia selección de esquemas de



CIC

“routing models”. En los últimos años, las varias regiones han iniciado una aproximación para alcanzar una consistencia nacional, y estudios están siendo desarrollados para evaluar y analizar los sistemas operacionales actuales en las 8 regiones con la esperanza de sintetizar los varios sistemas de predicción. Es reconocido dentro de la EA que existe un claro potencial para desarrollar más y mejores (detallados) modelos de predicción de ríos. En un informe posterior a las inundaciones de Otoño de 2000 (DEFRA, 2002), la EA concluyó que en regiones donde modelos de predicción de descargas en tiempo real existían, ellos fueron usados como información cualitativa de apoyo a las decisiones de emitir alertas de inducciones, y no necesariamente como predicciones cuantitativas. Esto fue atribuido a la falta de confianza en las simulaciones del modelo, lo que también fue basado en una falta de confianza en la información de predicción de tiempo y la re-calibración y actualización de los modelos (frecuentemente, debido a falta de recursos).

En vista de estos problemas en modelos y predicciones, la Estrategia del Sistema Nacional de Predicción de Inundaciones (NFFMSS) fue iniciada por el gobierno del Reino Unido para elaborar el Sistema Nacional de Predicción de Inundaciones (NFFS). El NFFMSS va a proveer de una plataforma o “shell” nacional, que permite que los modelos sean conectados y operados hacia una solución común en lugar de varias soluciones diferentes. Todos los sistemas de predicciones de ríos y ondas de marea serán llevados a cabo en esta plataforma, y así que nuevos modelos son desarrollados ellos también pueden ser incorporados en el sistema. Este proyecto está siendo desarrollado en fases para permitir la integración y migración entre todas las regiones de la EA. El sistema será sediado en dos de los centros de predicción regional (Noreste y Anglia).

12.3.2 Modelos

Varias regiones en la EA usan actualmente modelos conceptuales de lluvia-descarga. Un modelo conceptual, el Institute of Hydrology Conceptual Model (HCM), en uso en la región Yorkshire está siendo expandido para uso en la región del Támesis. El modelo Thames Conceptual Model (TCM) se basa en el modelo de 2-capas de Penman (Figura 67). El modelo contiene una capa próxima a la superficie igual a la profundidad de las raíces de la vegetación. Esta capa de suelo drena (solamente cuando esta saturado) hacia un nivel más profundo de suelo de profundidad indefinida. Evaporación ocurre en la capa más superficial al ritmo de evaporación potencial Penman e (E), y con un ritmo menor (E_a) en la capa más profunda del suelo cuando hay humedad almacenada en este nivel (Moore, 1999). Esta zona tiene una renovación por medio de precipitación, y después de un porcentaje inicial (generalmente del 15%) comienza la percolación a los niveles más bajos no saturados. Percolación también ocurre en los dos niveles de almacenamiento Penman cuando el déficit total de humedad de suelo es compensado.



CIC

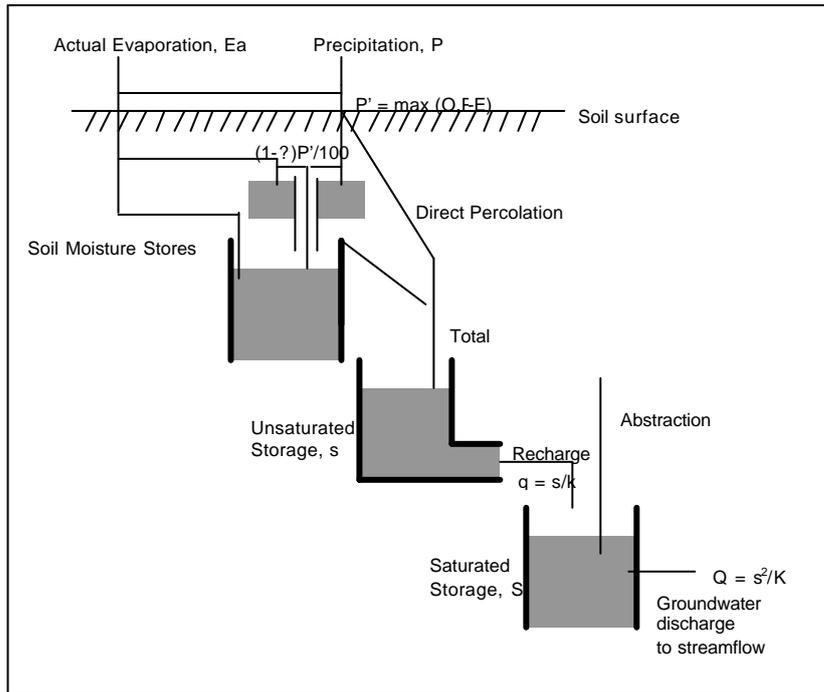


Figure 67. The Thames Conceptual Model (TCM).

Con formato: Fuente: 12 pt, Cursiva, Inglés (Estados Unidos)

Esta agua también fluye a un medio de almacenamiento no saturado que se comporta como un reservorio lineal. Este reservorio también recarga humedad a niveles profundos en los acuíferos de la cuenca. Este modelo es actualmente usado dentro de un sistema integrado, conocido como Sistema de Predicción de Descargas de Ríos (RFFS), que ha sido ajustado para reunir la variedad de respuestas hidrológicas que pueden ocurrir en una región (urbana y rural). El RFFS fue desarrollado en conjunción con el Institute of Hydrology (llamado ahora de Centre for Ecology and Hydrology CEH) (Moore, 1999). En la Oficina regional de Yorkshire, el sistema ya tiene casi 10 años y corre en una plataforma VAX, que es considerada muy lenta y poco flexible cuando se compara con los sistemas más recientes (DEFRA, 2002). Es de esperar que mejoras deberán ser hechas en los próximos años. Sin embargo, planes para reemplazar el hardware actual esperan por el proyecto final del National Flow Forecasting Strategy.

12.3.3 Datos y Predicciones Climáticas

Predicciones de lluvia y datos de radar del UK Met Office son usados como variables de entrada en modelos de lluvia-descarga en el RFFS actual en Yorkshire. Predicciones de descargas de ríos generados por estos modelos están conectados a modelos hidrodinámicos en tiempo real. RFFS fue desarrollado con un sistema de telemetría más antiguo que usa transferencia de información del sistema de telemetría como base para corregir o actualizar predicciones. Predicciones hidrológicas actualmente corren



CIC

automáticamente cada dos horas, lo que no permite ajustes de los hidrólogos. El Sistema de Predicción de Ondas de Marea está en la misma plataforma que el RFFS. Este modelo usa velocidad de viento, ondas y alguna información de modelos de predicción de ondas.

El CEH ha analizado modelos de lluvia-descarga en cuencas que puedan servir de entrada para el modelo de River Flow Forecasting System (Moore, 1999) desarrollado actualmente por la EA. El RFFS va a incluir datos de radar y telemetría con modelos como el Thames Catchment (TCM) y Probability Distributed Model (PDM) para permitir predicciones en varios puntos de la cuenca. En la región del Río Tamesis, el sistema permite predicciones en 28 puntos en de la cuenca. Esto va a ser aumentado a 50 puntos en los próximos años (DEFRA, 2002). El modelo de predicción en el presente corre en un VAX y toma datos del sistema de telemetría PTSN. En Tamesis, las predicciones de tiempo del UK-Met Office de hasta 5 días son recibidos en el Centro de Predicción de Tiempo de Londres antes de las 09:00 horas diariamente, con actualizaciones a las 16:00 horas. Alertas de lluvias intensas también son recibidas. En la actualidad, todas las regiones reciben información de radar separadamente del UK-Met Office. La EA está actualmente implementando un sistema de comunicación nacional en el cual el UK-Met Office va a mandar todos los datos de radar a la oficina central de la EA en Leeds, y las regiones van a obtener datos de radar de este centro.

13 Consideraciones finales: Extremos de lluvia en escenarios climáticos del futuro

Uno de los aspectos más intrigantes de la variabilidad climática en escenarios de clima futuro es la posibilidad de una mayor disponibilidad de energía potencial disponible en la atmósfera para generar tormentas, debido a una atmósfera más caliente y húmeda. Hay indicaciones de que el número e intensidad de tempestades tropicales puede aumentar como consecuencia de una atmósfera u océano superficial más caliente, con graves consecuencias económicas y sociales. Un caso extraordinario que aparentemente nunca fue reportado en el Atlántico Sur, al menos durante los últimos 30 años, fue el ciclón extratropical Catarina, que afectó la costa sur de Brasil durante el periodo 26-28 de Marzo 2004. Esta fue la primera vez que tal sistema sinóptico se desarrolló en el Atlántico sur, y que alcanzó la intensidad de huracán. Es interesante de mencionar que la trayectoria del ciclón coincide con la área de una intensificación de la actividad ciclónica y de tempestades (y las lluvias extremas asociadas a estos extremos) en escenarios futuros de clima (2070-2100) construidos por el Hadley Center, UK. Aunque una sola realización de un evento de ciclón de tales proporciones sobre el Atlántico sur puede que no sea estadísticamente significativa, esto sería una indicación de cómo podrían ser en el futuro los extremos climáticos.



CIC

Referencias

- Aceituno, P., 1988: On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 505–524.
- Anderson, E. A., 1973: National Weather Service River Forecast System – Snow Accumulation and Ablation Model, NOAA Technical Memorandum: NWS Hydro-17, U.S. National Weather Service.
- Barros, V. R. e M. E. Castañeda, 1994: La relación de los máximos vientos en 200 hPa con los campos de precipitación en Argentina. Anais VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia e II Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, Belo Horizonte. Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 2, 103-107.
- Barros, V., Chamorro, L., Coronel, G., Baez, J., 2004, The major discharge events in the Paraguay River, accepted in *J. of Hydrometeorology*
- Bombardelli, F. A., Menéndez, A. N., Brea, J. D., Montalvo, J. L. y Porro, G. O., 1994: Estudio hidrodinámico del Delta del río Paraná mediante modelación matemática. Informe de Avance N° 1", Informe LHA-INCYTH 137-01-94.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., 1976: Time Series Analysis. Forecasting and Control, Holden-Day.**
- Brazil, L.E. and M. D. Hudlow, 1981: Calibration procedures used with the National Weather Service river forecast system. In: Water and Related Land Resource Systems, Y. Y. Haimes and J. Kindler (Editors), Pergamon Press, New York, pp. 457-566.
- Camilloni, I.A., Barros, V.R., 2003: Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing, *Journal of Hydrology*, 278, 94-106.
- Camilloni, I.A., Caffera, R.M., 2003: The largest floods in the Uruguay river and their climate forcing, submitted to *J. of Hydrometeorology*
- Carvalho, L, C. Jones, and B. Liebmann, 2004: The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. *J. Climate*, 17, 88–108.
- Carvalho, L, C. Jones, and B. Liebmann, 2002: Extreme precipitation events in southeastern South America and large scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *J. Climate*, 15, 2377–2394.
- Cartwright, D.E., Ray R.D., 1990: Oceanic tides from Geosat altimetry, *Journal of Geophysical Research*, 95, 3069-3090.
- Cazes, G., A. Robertson, and C. R. Mechoso, 2003: Seasonal Dependence of ENSO Teleconnections over South America and Relationships with Precipitation in Uruguay. *J. Climate*, **16**, 1159–1176.
- Chaves, R, Cavalcanti, I 2000: Eventos extremos de precipitação sobre o Sul de Nordeste. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro. 2000
- DEFRA, 2002: Department for Environment, Food & Rural Affairs, Environment Agency. Flood Forecasting – Real Time Modelling, R&D Technical Report W5C -013/5/TR.
- Espírito Santo, C, Satyamurty, P 2002: Eventos extremos de precipitação na região Sudeste do Brasil. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro. 2000
- Fattorelli, S., G. Dalla Fontana, and D. Da Ros, 1999: Flood Hazard Assessment and Mitigation. In Casale, R. and Margottini, C. (eds.) Floods and landslides: Integrated risk assessment. g, Berlin, pp.147-189.
- Ferraz, S. E. T. e A. M. Grimm, 2001: Relação entre variabilidade intrasazonal no Sudeste do Brasil e deslizamentos de terra no Estado de São Paulo. Proceedings of the 4th Inter-American Dialogue on Water Management, (em CD, nº 191), Foz do Iguaçu, setembro



CIC

- de 2001, The Organization of American States, Brazilian Ministry of Environment and Inter-American Water Resources Network.
- FICH (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral), 2003: La crecida extraordinaria del río Salado. Causas naturales y antrópicas que provocaron la inundación de la ciudad de Santa Fe.
- Fread, D.L., 1995: A pathway toward improving hydrologic predictions, presented at Iowa Hydraulics Colloquium: Issues and Directions in Hydraulics, *IAHR's Journal of Hydraulic Research* 6.
- García, N. and Vargas, W.: 1998: The temporal climatic variability in the Río de la Plata basin displayed by the river discharges, *Climate Change*, Vol 38, 359-379.
- Grimm, A. M., V. R. Barros, M. E. Doyle, 2000: Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *J. Climate*, **13**, 35-58.
- Grimm, A. G. e I. Pscheidt, 2001: Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante El Niño, La Niña e anos neutros. Anais do IX Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia e VIII Congresso Argentino de Meteorologia (em CD, nº 269), Buenos Aires, maio de 2001, Centro Argentino de Meteorólogos e Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia.
- Grimm, A. M. e C. L. S. Sant'Anna, 2001: Influência de fases extremas da Oscilação Sul sobre a persistência e intensidade da precipitação no Sul do Brasil. Proceedings of the 4th Inter-American Dialogue on Water Management, (trabalho nº 192 no CD), Foz do Iguaçu, setembro de 2001, The Organization of American States, Brazilian Ministry of Environment and Inter-American Water Resources Network.
- Haggett, C., 1998: An integrated approach to flood forecasting and warning in England and Wales, *J. CIWEM*, 12, 425-432.
- INA-FICH, 1998: Estudios Hidrológicos, de Modelación Hidrodinámica y de Erosión Fluvial para la Nueva Conexión Vial Santa Fe-Santo Tomé.
- Ingram J., 1996: Lesson taught by floods in the United States of America. Presented at ICSU SS/IDMDR Workshop on River Flood Disasters, Koblenz, Germany, November, 26-28, 1996.
- Jaime, P., Menéndez, A.N., 2002: Análisis del Régimen Hidrológico de los Ríos Paraná y Uruguay, *Informe INA-LHA 05-216-02*, Comitente: Proyecto Freplata.
- Jaime, P. R., Menéndez, A. N., 1997: Modelo hidrodinámico del Río Paraná desde Yacretá hasta la ciudad de Paraná, Informe LHA-01-165-97.
- Jaime, P., Menéndez, A.N., 1999: Modelo hidrodinámico Río de la Plata 2000, Informe LHA-INA 183-01-99.
- Jaime, P., Menéndez, A.N., Uriburu Quirno, M., 2000: Modelo hidrodinámico del río Paraná para pronóstico hidrológico, XVIII Congreso Nacional del Agua, Termas de Río Hondo, Argentina.
- Kalnay E. et al., 1996: The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471.
- Kalinin, G.P., Miljukov, P.I., 1958: Computation of unsteady flow, Trudy Centr. Inst. Prognozov, Leningrad, Vol. 66.
- Maddox, R. A., 1980: Mesoscale convective complexes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 61, 1374-1387.
- Marengo, J. W. Soares, C. Saulo, M. Nicolini 2004: Climatology of the LLJ east of the Andes as derived from the NCEP reanalyses. In Press, *Journal of Climate*



CIC

- Marton, E., 2000: Oscilações Intrasazonais Associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul no Sudeste Brasileiro. Tese de Doutorado, Instituto Astronômico e Geofísico da USP, São Paulo SP.
- Menéndez, A. N., 1990: Sistema HIDROBID II para simular corrientes en cuencos, Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, vol. 6, 1.
- Menéndez, A. N., 1996: Ezeiza IV: un programa computacional para redes de canales, V Congreso Argentino de Mecánica Computacional, MECOM'96, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Ministerio del Interior, 1994: Subunidad Central de Coordinación para la Emergencia, Estudio de regulación del valle aluvial de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el control de las inundaciones, Buenos Aires, 1994.
- Moore, R. J., 1999: Real-time flood forecasting systems: Perspectives and prospects. In Casale, R. and Margottini, C. (eds.) Floods and landslides: Integrated risk assessment. g, Berlin, pp.147-189.
- Nash, J.E., 1959: A note on the Muskingum flood-routing method, *J. Geophys. Res.*, 64.
- National Hurricane Center (NHC), 2001: Tropical Cyclone Report - Tropical Storm Allison. <http://www.nhc.noaa.gov/2001allison.html>
- National Weather Service (NWS), 1999: National Weather Service River Forecast System (NWSRFS) User's Manual, NOAA – National Weather Service, Office of Hydrology, Silver Spring, MD.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2001: NOAA Weather Magazine, November 1, 2001, Washington, D.C.
- National Hydrologic Warning Council (NHWC), 2002: Use and Benefits of the National Weather Service, River and Flood Forecasts, Prepared by EASPE, Inc.
- Pisciotano, G., A. Diaz, G. Cazes e C. R. Mechoso, 1994: El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *J. Climate*, 7, 1286-1302.
- Ré M., Menéndez A.N., 2003: Modelo Hidrodinámico del Río de la Plata y su Frente Marítimo, Informe INA-LHA 03-216-03, Comitente: Proyecto Freplata.**
- Ré M., Menéndez A.N., Ludueña, S.G., 2004: Mapas de riesgo de inundaciones para una zona costera considerando el cambio climático, Trabajo enviado al XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro, Brasil, octubre.**
- Ropelewski, C, Halpert, M 1987: Global and regional scale precipitation patterns and connections with the Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, 115, 1606-1626
- Ropelewski, C, Halpert, M 1989: Precipitation patterns associated with the High index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, 268-284.
- Serban, P., Crookshank, N.L., Willis, D.H., 2003: Intercomparison of Forecast Models for Streamflow Routing in Large Rivers, Report WMO, Geneva.
- Severo, D. L. 1994: Estudo de casos de chuvas intensas no estado de Santa Catarina. INPE-dissertação de mestrado em meteorologia. São Jose dos Campos, SP.
- Simonato, C., Dragani, W., Nuñez, M.N., Engel, M., 2002: A set of 3-d nested models for tidal propagation from the Argentinean Continental Shelf to the Río de la Plata Estuary, Part I M2, submitted to Continental Shelf Research.
- Teixeira, M. S. 2004: Atividade de ondas sinópticas relacionada a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado-Meteorologia. INPE, São Jose dos Campos. 94 pp.
- USACE (US Army Corps of Engineers), 1960: Routing of Floods Through River Channels, Engineer Manual 1110-2-1408, Washington DC
- Velazco, I. e J. M. Fritsch, 1987: Mesoscale convective complex in the Americas. *J. Geophys. Res.*, 92, 9591-9613.



CIC

INDEF. D. Inicial de la gestión m17286/2006/12-11-12-32-1-2007-08-09
PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA,
EN RELACION CON LOS EFECTOS
HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y EL
CAMBIO CLIMÁTICO

PROGRAMA MARCO PARA LA GESTÃO
SUSTENTAVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS
DA BACIA DO PRATA, CONSIDERANDO OS
EFEITOS HIDROLÓGICOS DECORRENTES
DA VARIABILIDADE E MUDANÇAS
CLIMÁTICAS

William, A.M., Cunge, J.A., 1975: Simplified equations of unsteady flow, Chapter 5, Unsteady flow in open channels, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado.



CIC

INFORME Final de la gestión m17-08-006/12-11-12-32-1-2007-08-09
PROGRAMA MARCO PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL PLATA,
EN RELACION CON LOS EFECTOS
HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD Y EL
CAMBIO CLIMÁTICO

PROGRAMA MARCO PARA LA GESTÃO
SUSTENTAVEL DOS RECURSOS HIDRICOS
DA BACIA DO PRATA, CONSIDERANDO OS
EFEITOS HIDROLOGICOS DECORRENTES
DA VARIABILIDADE E MUDANÇAS
CLIMATICAS

PREDICCIÓN HIDROCLIMÁTICA

Componente 2a: DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN HIDROCLIMÁTICA

Subcomponente 2a5

Tema 3

Taller en Bolivia

Dr. Edgar Montenegro

INFORME FINAL

Versión 2

Noviembre de 2004



CIC

TALLER

CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONALES ASOCIADAS A LOS METODOS DE PREDICCIÓN DE EVENTOS EXTREMOS DEL CLIMA Y DE LA HIDROLOGIA EN LA CUENCA DEL PLATA

Tarija, Bolivia

9 de julio de 2004

1. Antecedentes de realización del Taller

El taller sobre **“Características organizacionales asociadas a los métodos de predicción de eventos extremos del clima y de la hidrología en la cuenca del Plata (CdP)”**, se desarrollo en el Hotel Viña del Sur de la ciudad de Tarija - Bolivia, el día 9 de julio del año 2004.

Este evento es una de las actividades de diagnostico llevada a cabo en el marco del proyecto “Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en Relación con los Efectos Hidrológicos de la Variabilidad y el Cambio Climático”.

De manera mas especifica, el taller se encontraba previsto como la subactividad 2.a.5, dentro la actividad “Caracterización del clima y la hidrología de la CdP, los sistemas de predicción existentes y sus necesidades”, que viene siendo desarrollada por un grupo Científico Consultor para el Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC).

El taller congrego a unas 22 personas provenientes de 12 instituciones que de alguna manera se encuentran vinculadas con la problemática planteada para este evento. En una primera instancia se realizaron exposiciones de los temas que se muestran en la Agenda del Taller, presentada en el Anexo A. Al final del día se constituyeron 3 grupos de discusión a los que se les planteo un conjunto de preguntas cuyos resultados se describen posteriormente.

2. Objetivos del taller

El taller fue diseñado como herramienta de diagnostico para: a) Analizar la importancia del conocimiento del clima, asociado a la ocurrencia de eventos hidrológicos y climatológicos extremos en la región boliviana de la CdP, b) Identificar la importancia de los eventos hidrológicos extremos y climáticos en la región, b) Conocer las características organizacionales de los sistemas de predicción de eventos extremos existentes, c) Plantear las características deseables de un sistema de predicción de eventos extremos en la región

4. Tema 3



CIC

3. Breve reseña de las presentaciones

La presentación del taller estuvo a cargo del Ing. Edgar Montenegro, que describió el contexto en el que se desarrollaba el Taller, los objetivos y la modalidad de trabajo.

El meteorólogo Jorge Aldunate, a cargo de la primera exposición, focalizó la CdP, realizando una caracterización de variables para la región, como isobaras viento en niveles bajos y altos junto con la presentación de resultados del experimento denominado SALLJEX.

En términos del SALLJEX, indico que el experimento permitió medir la estructura y la variabilidad espacial y temporal de la corriente en chorro en niveles bajos en la región, señalando que el experimento ha permitido medir la estructura y la variabilidad espacial y temporal de la corriente en chorro de niveles bajos en la región.

Como resultado de las mediciones realizadas, el meteorólogo Aldunate indico que se ha podido constatar una relación directa de los sistemas convectivos con la corriente en chorro en la región de la cuenca del Plata, por lo que se constituye en un elemento de variabilidad y predicción del clima, siendo importante encarar mediciones en altura con equipos de radiosonda que permitan conocer el contenido de humedad, elemento clave para entender el mecanismo de formación de las lluvias.

Entre sus conclusiones, señalo que en términos meteorológicos, las condiciones que se deben reunir para que se generen eventos de precipitación extremos en la CdP boliviana son: a) Que el alta de Bolivia ubicada sobre el Amazonas debe estar bien configurada. b) Debe ocurrir una convección profunda en la región sur de Bolivia que interactue con el frente frío que ingresa a esta región.

La segunda presentación a cargo del Ing. Edgar Montenegro, mostró características destacadas de los sistemas de predicción de eventos hidrológicos extremos de la Argentina y el Brasil, destacando el uso practico de las predicciones y la tendencia de mejorar estas predicciones con el uso de modelos junto al conocimiento del clima y la hidrometeorología de las regiones.

A su vez el Ing. Javier Caba trato el tema de ocurrencia del granizo, señalando que en promedio se tiene una frecuencia de ocurrencia de granizo de hasta el 30 % de los días del mes de noviembre en Tarija, presento un mapa de riesgos de granizo del departamento de Tarija, mostrando que el promedio anual de perdidas por este tipo de eventos alcanza 471000 U\$, afectando la producción de unas 552 Ha por año.

El Ing. Alfonso Vacaflores del Programa Estratégico de Acción para la cuenca binacional del Río Bermejo (PEA), enfatizo su presentación en aspectos de inundación del río Bermejo, presento un mapa de zonas de inundación y anegación, ilustrando con un video la crecida del 25/01/00, donde se muestran los daños causados a la infraestructura caminera, la destrucción de parcelas agrícolas y



CIC

viviendas localizadas en las márgenes del río y la anegación de la población de Bermejo. Mostrando que la cuantificación total del daño alcanza a diecinueve millones de dólares aproximadamente, de este monto diez millones de dólares corresponde a pérdidas en la infraestructura del camino Bermejo_Tarija.

Actualmente el PEA viene instalando una red pluviográfica y fluviográfica en la cuenca del río Bermejo que al contar con sistema de comunicación especial, proporcionara datos en tiempo real a una central localizada en territorio argentino y que también transmitirá los datos de manera inmediata a Tarija.

El Ing. Jorge Espinoza de Defensa Civil presento el Plan Nacional para Prevención y Atención de Desastres, que tiene como componentes un sistema de alerta temprana, un sistema de información geográfica, un centro de operaciones de emergencia y un portal WEB.

El sistema de alerta temprana propuesto por defensa civil, es una estructura técnico operativa basada en la interpretación de la información generada por otras instituciones, el problema que se detecto es que en la región no existen instituciones especializadas en realizar pronostico de eventos como inundaciones.

El Ing Daniel fuentes presento las tendencias en el uso de modelos hidráulicos en la prevención de daños por eventos extremos, mostrando que en la medida en que se precisen mas las consideraciones de sometimiento de las obras hidráulicas, los efectos de las crecidas serian atenuadas de forma mas eficaz. Los modelos que se presentaron con ilustraciones de estudios de caso fueron el Delft3D y el Flow-2D.

Por otro lado el proceso de implementación de un sistema de antigranizo en el Municipio de Uriondo, fue presentado por el Ing. Pablo Narváez, quien menciona que el municipio esta adquiriendo un radar meteorológico por 350000 U\$, que posteriormente será entregado a una empresa operadora que complementara el sistema antigranizo y que planteara una forma de pago a los usuarios del servicio.

La última exposición estuvo a cargo de los Ings. Fernando Zárate y José Molina del Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo, que mostraron el proyecto de monitoreo hidrológico de la cuenca del Pilcomayo, consistente en la reactivación de una red pluviométrica y pluviométrica, se menciona que los problemas con inundaciones no son muy serios debido a que no hay asentamientos humanos importantes en la zona, sin embargo se menciona que los problemas de bajantes tiene una repercusión importante en los volúmenes de extracción de sábalo del río, recurso pesquero de enorme importancia para la región. Mostraron que existen estudios que asocian las bajantes con el índice de oscilación del sur, indicador de la ocurrencia del evento El Niño.



CIC

4. Trabajo en grupos

Con la finalidad de incorporar mas elementos de diagnostico se diseño un trabajo por grupos que fue orientado en base a la solicitud de un conjunto de preguntas planteadas a tres grupos, los resultados de dos grupos se muestran a continuación, no se presentan los resultados del tercer grupo debido a que los mismos son equivalentes a las respuestas recogidas en los grupos 1 y 2:

Grupo 1:

Daniel Montoya ..COE – Prefectura
Rubén Campos..... COE - Prefectura
Pablo Narváez..... Gobierno Municipal de Uriondo
Vladimir Argota.... Estudiante Ing. Agronómica
Fernando Zárate Proyecto Pilcomayo

a.1) ¿Que conocemos del clima en Bolivia, asociado a la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos en la CdP?

Si bien se tienen algunos estudios puntuales en la región sobre teleconexiones de lluvias y caudales con eventos del Niño, el conocimiento del clima es incipiente, no se conoce que a nivel de investigación se estén evaluando los fenómenos atmosféricos que originan los eventos extremos en la región.

b.1) ¿Cuan necesario es un sistema Hidroclimático de alerta?

Dados los impactos señalados en las exposiciones, resulta imprescindible avanzar en establecer un sistema Hidroclimático de alerta para el área boliviana de la CdP.

Entendemos que debería apoyarse políticas de investigación y desarrollo en esta temática a partir de las instituciones oficiales y académicas existentes. Los proyectos en desarrollo en las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo podrían colaborar apoyando tesis a nivel de maestría y doctorado de profesionales bolivianos.

c.1) ¿Cuan importantes son los eventos hidrológicos y climatológicos extremos?

Los fenómenos más importantes por su impacto socioeconómico son: las heladas tanto tempranas como tardías que impactan fuertemente la producción agrícola de la región. Por ejemplo en el presente año se observaron pérdidas de cultivo por heladas de mas o menos el 50%.

Las granizadas en el valle central impactan la producción agrícola (ver trabajo SENAMHI)

Las inundaciones afectan principalmente las zonas de influencia de la cuenca del río Bermejo con impacto en poblaciones, tierras productivas, infraestructura vial, etc.

Las sequías afectan fuertemente la producción agropecuaria de la región Chaqueña.

d.1) ¿Que características debería tener el sistema Hidroclimático de alerta para ser útil a la región?



CIC

El clima tendría que ser comprendido de manera tal que se pueda pronosticar los eventos extremos tales como heladas, granizadas, lluvias, en tiempo oportuno a fin de minimizar los daños.

e.1) ¿Que se conoce sobre el cambio climático en la CdP boliviana?

Como hablar de cambio climático si no se tiene la suficiente cantidad de datos, las evidencias de datos del río Pilcomayo de 45 años no son suficientes para afirmar la existencia de cambio climático

Aparentemente existe una disminución de los promedios de lluvia en los últimos 10 años en Tarija, pero no hay evidencias científicas que permitan corroborar esta afirmación

f.1) ¿Como esta organizando el alerta Hidroclimático en la Cdp boliviana?

No se cuenta con un sistema de este tipo en el Pilcomayo, para este río se considera mas importante una alerta sobre contaminación.

En la cuenca del río Pilcomayo, las afectaciones por estos eventos no son considerables la demora de la respuesta de la cuenca permitiría realizar alertas con una anticipación de mas de 10 días, por el tamaño de la cuenca.

g.1) Sugerencias particulares sobre acciones integrales en la CdP

Se debe buscar el intercambio de datos hidrometeorológicos identificando una institución del rubro, luego realizar con una red regional con los países.

Apoyo a las instituciones referentes locales de Bolivia, aprovechando los potenciales de las instituciones existentes (Ejem. AASANA). Establecer programas regionales con mas vínculos instituciones locales e internacionales.

Grupo 2:

Ivar Farfan	SENAMHI
Nancy Quiroga	HAM URIONDO
Carlos Miranda	HAZAÑA
Alfonso Vacaflores	PEA (BERMEJO)
Javier Caba	SENAMHI
Daniel Fuentes	LHUMSS

a.2) ¿Que conocemos del clima en Bolivia, asociado a la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos en la CdP?

No se han realizado estudios especializados de la dinámica atmosférica relacionados a eventos extremos.

b.2) ¿Cuan necesario es un sistema Hidroclimático de alerta?

Es muy importante para prevenir consecuencias adversas producto de eventos extremos.

c.2) ¿Cuan importantes son los eventos hidrológicos y climatológicos extremos?

4. Tema 3



CIC

Son importantes por el daño que ocasionan en áreas urbanas y rurales.

d.2) ¿Que características debería tener el sistema Hidroclimático de alerta para ser útil a la región?

Se requiere un Organización técnico-científica bien organizada localizada en puntos estratégicos y con capacidad de difusión en tiempo real.

e.2) ¿Que se conoce del cambio climático en la CdP boliviana?

Se conoce de la existencia de estudios sobre el tema, sin embargo se considera que las series climáticas disponibles no son suficientes para revelar un cambio climático.

f.2) ¿Como esta organizado el alerta Hidroclimático en la CdP boliviana?

Se esta implementando una primera red de monitoreo hidrometeorológico en tiempo real en la cuenca del río Bermejo, que podría ser utilizado como un sistema de alerta temprana.

g.2) Sugerencias particulares sobre acciones integrales en la Cuenca del Plata

Fortificar la Oficina Técnica Nacional de los Ríos Pilcomayo y Bermejo, como entidad integradora y coordinadora de todos los planes, programas y proyectos hidrometeorológicos.



CIC

Apendice A

Agenda Taller

CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONALES ASOCIADAS A LOS METODOS DE PREDICCIÓN DE EVENTOS EXTREMOS DEL CLIMA Y DE LA HIDROLOGIA EN LA CUENCA DEL PLATA

Día 9 de julio de 2004

Lugar: Hotel Viña del Sur, Tarija – BOLIVIA

8:30 - 9:00 Registro de participantes

9:00 - 9:10 Presentación del taller y metodología de trabajo – Edgar Montenegro (LHUMSS)

9:10 - 9:40 Conocimiento del clima en Bolivia y su importancia en la comprensión y pronóstico de eventos extremos de precipitación, granizo y heladas en la Cuenca del Plata – Jorge Aldunate (AASANA)

9:40 -10:00 Sistemas de predicción de eventos hidrológicos extremos – Edgar Montenegro (LHUMSS)

10:00 -10:25 Eventos de granizo y heladas, implicaciones, acciones para la mitigación de daños en Tarija - Javier Caba (SENAMHI-Tarija)

10:25 - 10:45 Refrigerio

10:45 - 11:10 Eventos de inundación y sequía, implicaciones, acciones para la mitigación de daños en la cuenca del río Bermejo – Ing. Alfonso Vacaflores (OTNPB)

11:10 - 11:35 Defensa civil, rol y acciones en la mitigación de daños provocados por eventos extremos del clima y de la hidrología en la Cuenca del Plata – Jorge Espinoza (Ministerio de defensa)

11:35 – 12:00 Proyecto de gestión de riesgos y reducción de desastres naturales – Roberto Méndez (PROMIC)

14:30 - 15:00 Tendencias en el uso de modelos hidráulicos en la mitigación de daños por eventos hidrológicos extremos Daniel Fuentes (LHUMSS)

15:00 - 15:25 Una experiencia contra el granizo, Municipio de Uriondo – Pablo Narváez.

4. Tema 3



CIC

15:25 - 15:45 "Monitoreo hidrológico de la cuenca del Pilcomayo e impactos ambientales de eventos extremos en la cuenca". Ings. Fernando Zárate y José Molina (Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del río Pilcomayo)

15:45 - 16:45 Trabajo en grupos – Clima e hidrología
Estado De las características organizacionales asociadas a los métodos de Predicción de eventos extremos del clima y de la hidrología en la región.

16:45 - 17:00 Refrigerio

17:00 – 18:00 Presentación de conclusiones y clausura del taller

LISTA DE PARTICIPANTES:

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CARGO	DIRECCION
Carlos Diaz	SENAMHI	Director Nacional	cdiaz@senamhi.gov.bo
Jorge Espinoza	Ministerio de defensa	Dirección general de prevención y reconstrucción	Jivanosaurious@yahoo.com
Fernando Zárate	Proyecto de gestión integrada de la cuenca del río Pilcomayo	Codirector nacional	Pmpilco@alamo.entelnet.bo
José Nicolas Molina Mitru	Proyecto de gestión integrada de la cuenca del río Pilcomayo	Unidad Hidráulica/civil	Gesipil@entelnet.bo
Edgar Montenegro	Laboratorio de Hidráulica Universidad Mayor de San Simón	Investigador LHUMSS-PROMIC	Lhpromic@pino.cbb.entelnet.bo
Jorge Aldunate	AASANA	Meteorólogo	Jaldunatep@hotmail.com
Javier Caba	SENAMHI-Tarija	Director Departamental	Jcaba@senamhi.gov.bo
Daniel Fuentes	Laboratorio de Hidráulica Universidad Mayor de San Simón	Investigador	Tioduty@yahoo.es
Pablo Narvaez,	Municipio de Uriondo	Oficial Mayor Técnico	tel/fax (4) 66.51052 (o Consejo Municipal 66.51051) munvalle@cosett.com.bo
Alfonso Vacaflares	OTN, Pilcomayo Bermejo		conapibe@olivo.tja.entelnet.bo
Amado A. Montes Barzon	Programa estratégico de acción para la cuenca del río Bermejo	Consultor	aquaviva@mail.cosett.com.bo peabol@olivo.tja.entelnet.bo

4. Tema 3



CIC

Edwin Barrios	Tesista (Vacaflor)		procon@entelnet.bo
Patricia Zoto	Ministro de Defensa		pzoto@hotmail.com
Daniel Montoya	COE Prefectura	Técnico	71194034
Ruben Campos	COE Prefectura	Técnico	48897 Tja.
Raul Gutiérrez	SENAMHI	Técnico	rj-gutierrez@senami.gov.com
Carlos Miranda	AASANA	Técnico	cmiranda_0308@hotmail.com
Nilo Márquez	CENAVIT	Técnico	cenavit@entelnet.bo
Julio López	Proyecto Pilcomayo	Técnico	gecipil@entelnet.com
Raul Orozco	Fac. Cien. Agrícolas y F	Vice Decano	vifcaf@mail.edu.bo
Farfán Ivar	SENAMHI	Técnico	42238 Tja.
Nancy Quiroga	Municipio Uriundo	Técnico	munvalle@cosett.com.bo