

ANEXO VIII

SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICA

1. GENERALIDADES

Se ha extraído de (United Nations, 2001):

El establecimiento de un sistema viable de alerta y de pronóstico de crecidas para poblaciones que se encuentran en situación de riesgo requiere de la combinación de información hidrometeorológica, de herramientas de pronóstico y de pronosticadores entrenados. Un sistema de pronóstico debe dar suficiente tiempo para que las poblaciones puedan responder a la alerta

En la medida que el tiempo de aviso se incrementa disminuye el nivel potencial de daños y pérdidas de vidas. Los pronósticos deben ser lo suficientemente aproximados para promover confianza en la gente que responderá cuando sea alertada. Si el pronóstico es inexacto la credibilidad del sistema será cuestionada y no habrá acciones de respuesta ante la alerta.

Los sistemas de alerta de crecida deben ser factibles de implementar y deben diseñarse para operar durante las crecidas más severas. Los mayores beneficios de un sistema de alerta contra crecidas se producen cuando la crecida es importante y cuando las comunidades y las organizaciones están preparadas para mitigar los impactos de la crecida.

Los componentes esenciales de un sistema integrado de pronóstico de crecidas, alerta y respuesta son la fuente de información, las comunicaciones, el pronóstico, el respaldo de decisiones, la diseminación de la información, la coordinación y las respuestas o acciones.

Si se genera un pronóstico perfecto pero la población en riesgo no tiene acceso, entonces la alerta es inútil. De igual forma si la población en riesgo recibe la alerta pero no conoce que acciones se deben tomar, entonces el sistema no cumple con su propósito.

Dependiendo de la naturaleza de la cuenca y el tipo de evento que genera la crecida, los tiempos de alerta pueden variar de horas a varios días o semanas

Las poblaciones sujetas a crecidas repentinas requieren de alertas de condiciones meteorológicas combinadas con las condiciones antecedentes de la cuenca. Esto representa un caso especial de pronóstico y alerta de crecidas. El objetivo en tal caso es una rápida detección del umbral de caudal crítico y las subsecuentes comunicaciones y las respuesta a la emergencia. El análisis de las series históricas de precipitaciones, incluyendo la

transposición de tormentas y los caudales resultantes ayudan a identificar las situaciones críticas.

Cuando los tiempos son mayores a una pocas horas, se deben contemplar sistemas de pronósticos más complejos. El grado de automatización y sofisticación que se desea debe considerarse a la luz de las necesidades y capacidades. La automatización requiere que puedan considerarse subsistemas: de adquisición y transmisión de datos; de procesamiento de la información; de preparación del pronóstico y de distribución del pronóstico.

En la medida que el sistema se desarrolla y expande, acompañando la disponibilidad de recursos financieros, se pueden implementar diferentes niveles de automatización. Los sistemas pueden variar desde aquellos que usan observaciones manuales (por ej. Cuenca del Río Salado en la actualidad), gráficos y tablas a los sistemas multi-modelos altamente automatizados que corren en computadoras tipo workstation.

Muchos países tienen redes de estaciones hidrometeorológicas que son necesarias para el pronóstico y la alerta de crecidas. Es probable que los operadores de las redes existentes pertenezcan a diferentes organismos (por ej. Cuenca del Plata). En varios casos las redes pueden no estar diseñadas para tomar información durante eventos extremos o no pueden suministrar información en tiempo real. También las redes pueden no proveer información para centro urbanos claves donde el pronóstico se requiere en gran medida.

La identificación de las redes, sus operadores y las capacidades existentes son pasos necesarios hacia la evolución de una sistema de pronóstico. Otro importante elemento es la identificación de las capacidades de las comunicaciones existentes. Dado que la disponibilidad de datos importantes están en sitios alejados, habrá que preguntarse si se pueden transmitir datos al centro de pronósticos y si existe enlace telefónico o de radio durante una emergencia de crecida.

Algunos organismos pueden haber desarrollado modelos matemáticos de simulación lluvia-caudal y modelos de tránsito de caudales para sus propios objetivos. Estos modelos pueden ser útiles como modelos de pronóstico de crecidas. Será de ayuda para definir las capacidades individuales de los organismos realizar un inventario de los modelos existentes.

El establecimiento de un sistema exitoso de pronóstico, alerta y respuesta depende de un completo análisis de las capacidades existentes, de la identificación de los usuarios clave del sistema y un buen entendimiento entre organismos. Considerando estos factores se puede pasar a considerar el pronóstico, que es lo que los usuarios necesitan durante la emergencia. El objetivo final del sistema es asegurar la salvaguarda y seguridad del público y proteger la

propiedad y el medio ambiente, y para realizar esto es necesario que el público reciba y entienda el pronóstico e igualmente los numerosos organismos que tienen responsabilidad en la acción y respuesta en la emergencia (por ej. Defensa Civil, municipalidades, etc.)

Típicamente los usuarios claves son organismos civiles de jurisdicción nacional, provincial o local, organizaciones militares, empresas (especialmente las que operan obras hidráulicas), organizaciones voluntarias y los medios periodísticos. Es importante que estos grupos establezcan contactos entre sí para ayudar a realizar el pronóstico y las pertinentes medidas de respuesta a la alerta.

No debe subestimarse el rol de los medios periodísticos informando al público. Es crítico que los medios reciban apropiadamente en tiempo el pronóstico y alerta. Los medios de comunicación deben alentar la respuesta apropiada del público y evitar la especulación contraproducente.

2. EJEMPLOS EN ARGENTINA

En Argentina existen varios sistemas de alerta hidrológica, siendo la mayoría de ellos basados en redes de estaciones hidrometeorológicas de transmisión de información en tiempo real debido al escaso tiempo de concentración de las cuencas sobre las cuales están instaladas.

No es éste el caso del sistema de alerta de la Cuenca del Plata donde la transmisión de la información se realiza a través de distintos medios de comunicación (fax, correo electrónico, etc.) ya que es un sistema cuya respuesta está en el orden del mes.

A continuación se hacen mención y descripción de algunos de ellos.

2.1 Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata (www.ina.gov.ar)

El Sistema de Información y Alerta Hidrológico (SIAH) de la Cuenca del Plata (Instituto Nacional del Agua) es un sistema que se opera, en tiempo real, para monitorear el estado hídrico de una las mayores cuencas hídricas de Sudamérica (Figura 1) y del mundo, la **Cuenca del Plata**: una cuenca compartida por cinco países (Brasil, Paraguay, Bolivia, Uruguay y Argentina) y que tiene una extensión de 3.100.000 km².

Son objetivos del sistema:

- Prever con la mayor antelación posible eventos de inundación o bajantes pronunciadas.
- Producir regularmente pronósticos hidrológicos en puntos de interés.
- Aportar elementos de juicio a la toma de decisiones en situaciones de emergencia hidrológica.
- Apoyar las actividades relacionadas con el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos en la cuenca.

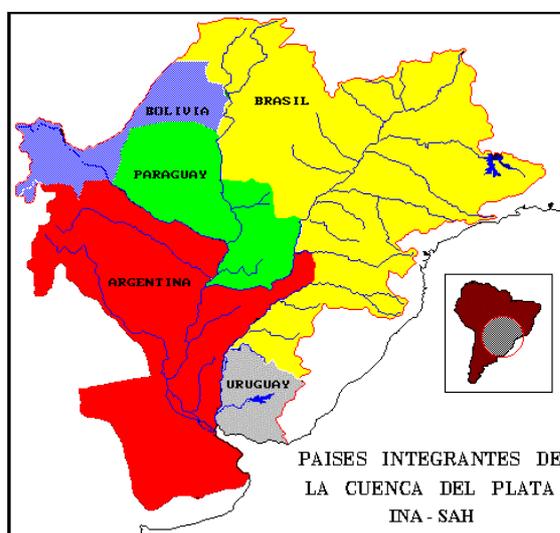


Figura 1. Cuenca del Plata

El Sistema brinda un servicio permanente de pronóstico y alerta hidrológicos, que es transmitido a los organismos (Nacionales y Provinciales) con incumbencia en las acciones de control de las inundaciones y de protección de vida y bienes de la población.

El Sistema recibe datos meteorológicos, hidrométricos y de campo (desarrollando y actualizando las bases de datos respectivas), implementa y opera modelos hidrológicos e hidrodinámicos, aplica procesamientos de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica para el seguimiento de líneas de inundación y el monitoreo de áreas anegadas.

La decisión de brindar un servicio, con una concepción participativa entre quienes proveen información (Prefectura Naval Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, Operadores de Represas Hidroeléctricas, etc.), y quienes la usan (organismos de Defensa Civil, Prefectura Naval, Gobiernos Provinciales y Municipales) ha probado su eficacia en situaciones de emergencia y genera un espacio de colaboración y respeto con los demás organismos técnicos involucrados.

El Sistema cuenta con un pequeño y eficiente equipo multidisciplinario de profesionales que realizan actividades de investigación y desarrollo en las siguientes áreas: meteorología, modelación hidrológica e hidrodinámica, sistemas de información geográfica y sensores remotos. Además, cuenta con un equipo de apoyo que amerita una extensa experiencia en la actividad.

Para realizar esta vigilancia permanente del estado de la cuenca se llevan a cabo las siguientes actividades:

- Recepción de datos meteorológicos e hidrométricos.
- Desarrollo y actualización de bases de datos.
- Digitalización de datos y aplicación a sistemas geográficos.
- Procesamiento integral de imágenes satelitales para monitoreo hidrometeorológico.
- Servicio Permanente de Pronóstico Hidrológico y Alerta

2.2 Córdoba

El INA (www.ina.gov.ar) por intermedio de su Centro de la Región Semiárida presta servicios de alerta hidrológica a las ciudades de Villa Carlos Paz, Mina Clavero, Villa Cura Brochero y otras numerosas localidades del Valle de Punilla (Figura 2).

Alerta de Crecidas en la Cuenca del Río San Antonio.

El sistema de alerta consisten en procesar la información a tiempo real en la estación central de Villa Carlos Paz, a fin de elaborar el cuadro de situación del fenómeno hidrológico en la cuenca y su evolución en el tiempo. Para ello, un equipo de profesionales y técnicos especializados, estiman a partir de la lluvia, niveles y caudales de los ríos, el pico de las crecidas y el tiempo en que se producirán, mediante el empleo de modelos matemáticos de pronóstico de crecientes a tiempo real.

El CRSA programa un sistema de guardias permanentes, que se activan a partir de la ocurrencia de los eventos hidrológicos sobre las cuencas. A partir de un determinado nivel de alerta, se transfiere el cuadro de situación y los pronósticos respectivos a Defensa Civil y por su intermedio al Cuerpo de Bomberos, Policía y otros organismos intervinientes. Este sistema cuenta con dos estaciones repetidoras y la estación receptora central, constituyendo la herramienta fundamental de este servicio.

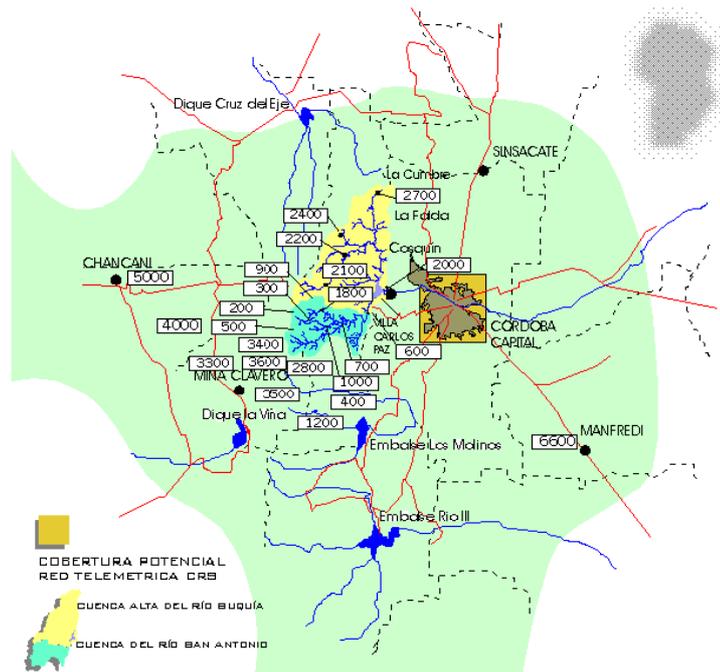


Figura 2. Sistema de Alerta Hidrológica en Córdoba

2.3 Mendoza

El INA a través de su Centro Regional Andino opera desde 1975 una red de 25 estaciones hidrometeorológicas en el área pedemontana (600 km²) de la cadena precordillerana al Oeste de la ciudad de Mendoza (Figura 3). A partir de 1982 ésta red de instrumental convencional fue ampliada y automatizada con un sistema de teletransmisión de datos "por eventos" (event-reporting), primero en este tipo puesto en funcionamiento en el país, cuyas características funcionales le permiten trabajar en "tiempo real", es decir que la información sobre precipitación o escurrimiento está disponible en una central de recepción y procesamiento simultáneamente con la ocurrencia del fenómeno hidrológico o meteorológico en estudio o evaluación.

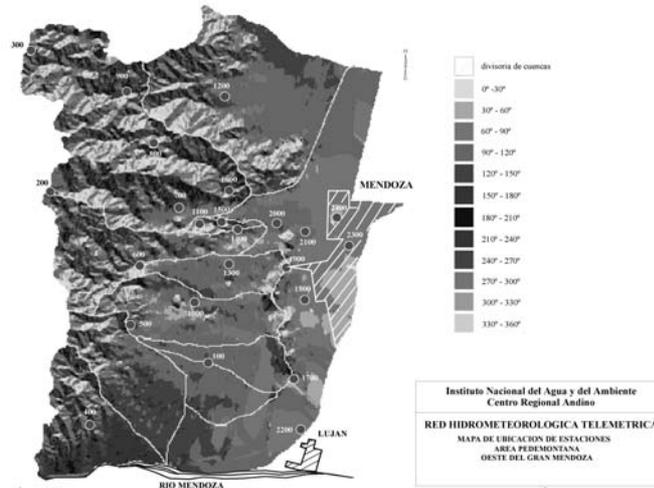


Figura 3. Sistema de Alerta Hidrológica del Gran Mendoza

Los tiempos de concentración oscilan entre pocas horas a 15-30 minutos según área y pendientes; los puntos más altos están a 3.000 m y los más bajos a 800 m, separados menos de 30 km.

Durante el período estival se organiza la campaña de alerta hidrológica para estas cuencas de la que participan, además del equipo técnico del CRA, personal debidamente entrenado de los distintos organismos provinciales interesados: Dirección de Defensa Civil (coordinador del Sistema de Alerta); Dirección de Hidráulica; Departamento General de Irrigación; Obras Sanitarias Mendoza S.A.; Municipalidades del Gran Mendoza.

Diariamente se tiene un pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional que indica la posibilidad o no de actividad convectiva. En los días positivos se monta un operativo PREALERTA en combinación con la Dirección de Lucha Antigranizo, cuyos radares meteorológicos ubicados en la ciudad de San Martín cubren una amplia zona que incluye el área de interés. En caso de detección de nubes o núcleos convectivos de alta reflectividad, que supone un alto nivel de probabilidad de lluvia, se comunica esta información vía telefónica o radial a la central del INA-CRA. Se indica además la localización de estas nubes y su dirección de desplazamiento. Esta información mantiene prevenido al operador de turno.

En caso de alerta el operador avisa telefónica o radialmente a las personas a cargo de los organismos pertinentes, para lo cual dispone de una lista de nombres y teléfonos oficiales y particulares.

3. ANTECEDENTES EN SANTA FE

3.1 Modelo del INCyTH-CRL

Entre los antecedentes reunidos por esta pericia se encuentra la publicación (INCyTH-CRL, 1988).

Esta publicación se refiere a la aplicación de modelos de regresión múltiple para brindar información de alerta hidrológica con una antecedencia de 3 días dando niveles en la estación INALI en base a la información de San Justo, Cululú y Puerto Santa Fe.

Según la publicación mencionada “*La metodología es simple y puede ser implementada con pocos recursos, aunque es necesario contar con un equipo de computación y un sistema de comunicación eficiente*”. Es de resaltar el año de la publicación, ya que en ese entonces no estaban tan difundidos, como en la actualidad, los equipos de computación, ni existían algunos medios de comunicación actuales (por ej. telefonía celular).

3.2 Actuaciones de la D.P.O.H

En el documento (DPOH, 2003) este organismo hace un descargo de responsabilidad sobre su accionar durante el evento de la crecida de 2003:

- *las áreas técnicas (A.T) no efectúan el seguimiento hídrico de la provincia de manera sistemática, ni operan ningún sistema de alerta hidrológico en el territorio provincial, por carecer de la competencia, estructura orgánico funcional y presupuesto para ello.*

y específicamente con respecto a un sistema de alerta expresa:

- *la red de medición de datos hidrológicos en el territorio provincial, que estuvo atendida por organismos nacionales y provinciales, ha sido desmantelada hace 13 años.*
- *las estaciones de medición que eran operadas por la DPOH-SPAR fueron desactivadas, y en la actualidad sólo se cuenta con dos agentes que cumplen con tareas de hidromensura, que ni siquiera tienen asignada una movilidad para su traslado en forma permanente sino que deben compartirla para el desarrollo de las*

tareas que le son encomendadas puntualmente por la superioridad con los agentes que realizan tareas de topografía.

- las áreas técnicas (A.T.) concientes de la necesidad de contar con la información hidrológica que se requiere para la formulación de un plan de prevención de crecidas, en el año 2001, siempre bajo la premisa de tender a conformar un organismo que sea la Autoridad de Aguas de la Provincia y aprovechando la convocatoria efectuada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, dos profesionales iniciaron su entrenamiento en el uso de un software destinado a la prevención y manejo de inundaciones de origen holandés. En ese marco a su vez, el gobierno holandés ofreció la suscripción de un contrato para el uso de dicho programa SOBEK RURAL con el gobierno de la provincia sin cargo durante un año. Dicho contrato se tramitó mediante el expdte. N°00603-0007012-3 y agregados, cuyos antecedentes se adjuntan, pero que no se concretó por cuestiones burocráticas y legales que determinaron que se vencieran los plazos para aceptar la propuesta.
- dado que la ciudad de Santa Fe presenta riesgos por inundaciones ante las crecidas del Río Salado, la DPOH-SPAR remitió a la SUCCE una nota con fecha 4 de abril de 1998 a través de la cual se propuso la inclusión de dos estaciones de medición telemétrica a tiempo real sobre el cauce del Salado ubicadas en la R.P.N°70 y en la R.PN°39. Las gestiones de esta licitación fueron llevadas a cabo por la SUCCE, se paralizaron en el segundo semestre del año 2001 y aún no se ha concretado.
- En caso de haber estado operativas las estaciones telemétricas solicitadas por las Áreas Técnicas para el tramo inferior del Río Salado a través del sistema de alerta hidrológico del Río Paraná previsto para implementar con los fondos del PPI (Proyecto Protección Inundaciones) se habría podido hacer, al menos, un monitoreo cuantitativo a tiempo real de la crecida en su tramo inferior.
- Por razones de índole burocrática y legal, no se ha podido contar con un software que permita la simulación de eventos catastróficos y la planificación de medidas de prevención y manejo de crecidas.
- La única manera de prevenir un evento hidrológico es contando con la información brindada por un sistema de alerta hidrológico en la provincia, por lo tanto, no cuenta con un mecanismo formal y confiable de pronóstico para la cuenca del Salado ni para ninguna cuenca interior.
- La red de medición de datos hidrológicos del territorio provincial actualmente está desmantelada.
- No existen otros organismos del ámbito nacional, provincial, municipal y comunal que operen sistemas de alerta hidrológico en las cuencas interiores de la provincia, puesto que el INA sólo opera el Sistema de Alerta de los Ríos Paraná, Uruguay y Paraguay que brinda información en secciones de dichos cauces.

El DPOH hace mención a que la red de mediciones de alturas y caudales, y no de precipitaciones, ha quedado desmantelada, y posteriormente enfatiza la necesidad de esa información para conformar un sistema de alerta.

Al respecto esta pericia ha podido comprobar, a través de modelación matemática (Anexo VI), que el sistema de alerta debe también constituirse con mediciones de precipitaciones, ya que justamente éstas producen una situación de prealerta que, luego, con el avance en el tiempo del proceso precipitación-escorrentía, debe retroalimentarse con la información de caudales en los distintos cursos de la cuenca.

4. SIMULACIÓN DE PRONÓSTICO DE LA CRECIDA DE 2003

4.1 Modelo HEC-HMS

Se ha planteado la hipótesis de que, si después de la crecida de febrero de 1998 se hubiera realizado la calibración del modelo HEC-HMS (HU Clark) (Hydrologic Engineering Center USCE, 2001) teniendo en cuenta que:

- el programa ejecutable como su manual de usuario y demás documentación está disponible libremente en INTERNET en la dirección www.hec.usace.army.mil/
- la información pluviométrica y de la crecida estaba disponible públicamente

y si se lo hubiera tenido listo para su aplicación en cualquier evento, al HEC-HMS se lo podría haber utilizado como herramienta de pronóstico en el evento de abril de 2003.

La simulación del pronóstico está realizada en base a los siguientes pasos que comúnmente hubiera realizado un profesional de la ingeniería con especialización en hidrología e hidráulica consustanciada con *el estado del arte* (en abril de 2003) ante similares circunstancias:

- A comienzos del 2003 se tiene información de que ha llovido y sigue lloviendo bastante en la cuenca del Río Salado, en consecuencia se fija el valor de CN e Ia igual que en 1998 ya que en ese evento también hubo una importante precipitación antecedente.
- El día 25 de abril de 2003 se aplica el modelo con la precipitación del 23 y 24 de abril y con el caudal medido en la RP70 (la información ha sido suministrada por la Dirección de Comunicaciones Provincial y ha aparecido en el periódico “El Litoral”), se simula una crecida con caudal máximo de 2062 m³/s el día 28/04/03.
- Es de aclarar que tal pronóstico es en RP70, en consecuencia ese caudal (o menor debido a la amortiguación de la onda) debe ser esperado en la Cdad. de Santa Fe el día

29/04/03, ya que se ha podido verificar en la modelación hidráulica del Anexo XI, que existe una diferencia de tiempo de entre 24 y 30 hrs. entre los picos de RP70 y la Cdad. de Santa Fe.

Recordando que en el evento de 1998 el caudal máximo llegó a 2672 m³/s en RP70 (2641 m³/s y cota IGM 16,15 en inmediaciones del Hipódromo según Anexo XI) y consecuentemente se produjo ingreso de agua por el Hipódromo, se debe asumir que la situación es preocupante.

- El día 26 de abril de 2003 se aplica el modelo con la precipitación del 23, 24 y 25 abril y con el caudal medido en la RP70 (la información ha sido suministrada por la Dirección de Comunicaciones Provincial y ha aparecido en el periódico “El Litoral”), se simula una crecida con caudal máximo de 3374 m³/s el día 28/04/03 en RP70 y 29/04/03 en Cdad. de Santa Fe.

- En base a los perfiles transversales del Río Salado extraídos de los estudios realizados en 1998, con el modelo HEC-RAS (el programa ejecutable como su manual de usuario y demás documentación está disponible libremente en INTERNET en la dirección <http://www.hec.usace.army.mil/>) se puede inferir qué cantidad de agua va a ingresar por el Hipódromo.

En la Figura 4 se pueden visualizar las distintas etapas de la simulación del pronóstico y la posición relativa de los caudales pronosticados en RP70 con respecto al pico de la crecida de 1998. Es de hacer notar que los pronósticos no se acercan al valor del caudal pico final de la crecida debido a que no se tuvieron en cuenta las precipitaciones de los días 28 y 29/04/03.

4.2 Procedimiento con extrapolación lineal

También se puede realizar una simulación de pronóstico similar basada en el seguimiento de los caudales diarios observados en la RP70 (la información estaba disponible en el periódico “El Litoral” con un día de atraso) y asumiendo una proyección lineal. Así el día 26/04/03 se puede proyectar un crecimiento de los caudales en base a la pendiente del hidrograma dada por los días 24 y 25 de abril.

En la Figura 5 se puede apreciar que con este procedimiento:

- el 27/04/03 se estaba pronosticando que en la RP70, para el 30/04/03 (01/05/03 en correspondencia con la Cdad. de Santa Fe) se alcanzaría un valor de 2580 m³/s, muy cercano al valor del pico de la crecida de 1998 (2672 m³/s).
- el 28/04/03 se estaba pronosticando que en la RP70, para el 30/04/03 (01/05/03 en correspondencia con la Cdad. de Santa Fe) se alcanzaría un valor de 5424 m³/s.

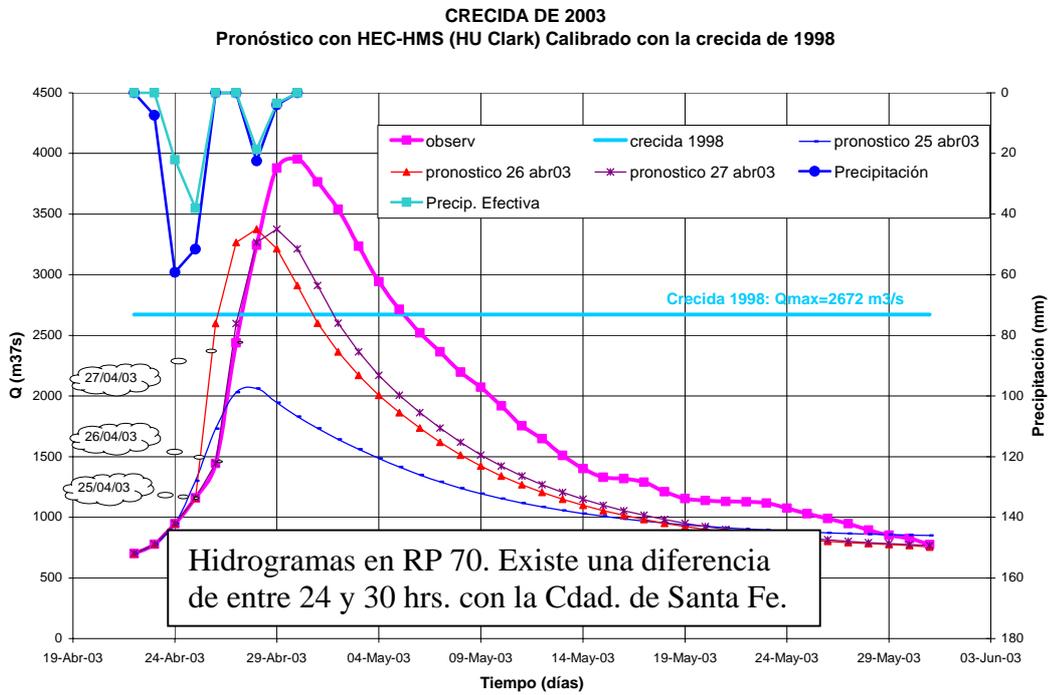


Figura 4.

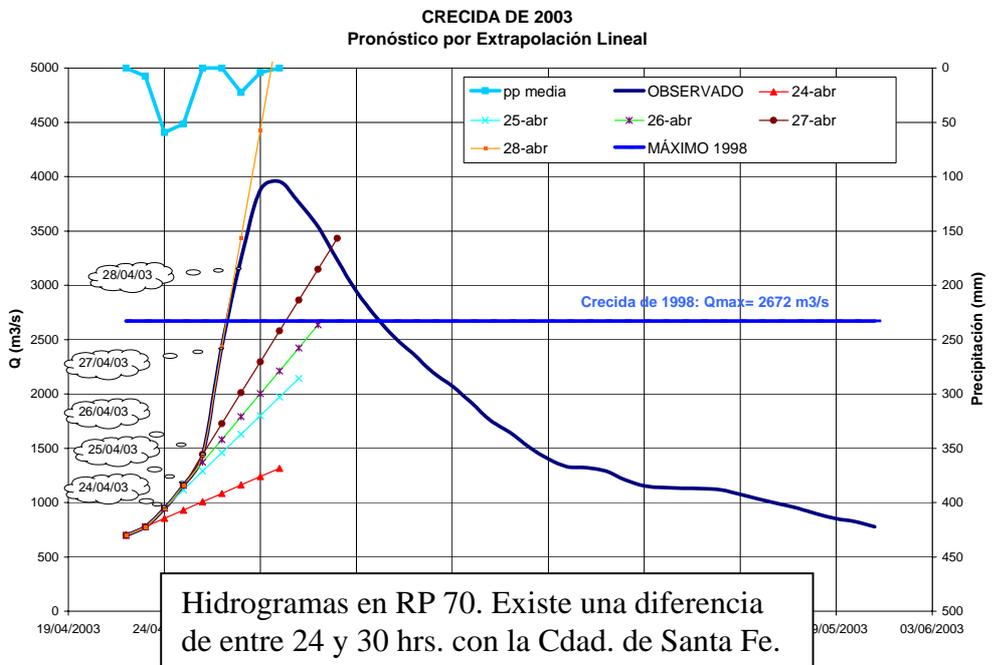


Figura 5.

5. CONCLUSIONES

Naciones Unidas explica que un sistema de alerta no es solamente transmisión de datos y modelación sino que es también respuesta al pronóstico y que forma parte de los planes de emergencias y contingencias. Hace hincapié en ciertas circunstancias que seguramente ocurrieron en eventos de crecidas que ocasionaron inundaciones importantes como en el caso de Santa Fe en 2003:

- *El objetivo final del sistema es asegurar la salvaguarda y seguridad del público y proteger la propiedad y el medio ambiente, y para realizar esto es necesario que el público reciba y entienda el pronóstico e igualmente los numerosos organismos que tienen responsabilidad en la acción y respuesta en la emergencia (por ej. Defensa Civil, municipalidades, etc.)*
- *Típicamente los usuarios claves son organismos civiles de jurisdicción nacional, provincial o local, organizaciones militares, empresas (especialmente las que operan obras hidráulicas), organizaciones voluntarias y los medios periodísticos. Es importante que estos grupos establezcan contactos entre si para ayudar a realizar el pronóstico y las pertinentes medidas de respuesta a la alerta.*

Se ha evidenciado que en el país existen antecedentes y experiencia en la operación de sistemas de alerta hidrológica con integración a organismos operativos en la emergencia.

El organismo provincial santafesino DPOH, con motivo del evento de 2003, deslinda responsabilidades y a su vez explica sus acciones con respecto a la tramitación de la implementación de distintos componentes de un sistema de alerta hidrológica para la cuenca del Río Salado (modelo de simulación de origen holandés y estaciones de medición de transmisión en tiempo real). También la DPOH expresa que la red de información hidrológica (no hidrometeorológica) de la provincia está desmantelada, poniendo así énfasis en la necesidad de contar con información de alturas y/o caudales en los cauces de la cuenca, para emitir pronósticos de crecida.

Esta pericia ha podido evidenciar la factibilidad técnica de la realización de pronósticos para la crecida de 2003 en base a:

- un conjunto de informaciones suministradas por la Dirección de Comunicaciones y medios periodísticos que constituye una base mínima adecuada para realizar el pronóstico
- modelación matemática de fácil accesibilidad, como se detalló en el Anexo VI

- criterios hidrológicos de grosera aproximación (procedimiento por extrapolación lineal), pero igualmente válidos.

La implementación de estas herramientas hidrológicas rudimentarias pueden constituir una etapa transitoria previa con vistas a un desarrollo complejo como lo indica Naciones Unidas.

Se hace notar la existencia de un modelo de pronóstico con 15 años de antigüedad al momento de la crecida de 2003 que permitía una muy buena aproximación de niveles de agua con 3 días de anticipación y que podría haber sido utilizado con la información de alturas del Río Salado en San Justo, Cululú y Puerto Santa Fe obtenidas a través de comunicaciones telefónicas.