

Sistema de alerta hidrológico de la cuenca del Río Salado, provincia de Santa Fe, Argentina: avances en su implementación

GUSTAVO FERREIRA

Ministerio de Asuntos Hídricos de la Provincia de Santa Fe (MAH), Almirante Brown 4751, Santa Fe, Argentina, y Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), Universidad Nacional del Litoral, Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo, Santa Fe, Argentina
cgf@fich1.unl.edu.ar

Resumen La crecida extraordinaria del Río Salado en los meses de abril y mayo de 2003 ha sido catalogada como la peor catástrofe ambiental de la Argentina en las últimas décadas. Los efectos sobre la ciudad de Santa Fe—con 23 víctimas fatales y más de un centenar de víctimas colaterales—fueron magnificados por la acción antrópica previa, entre otros factores, la falta de medidas de previsión. En este trabajo se analiza el deterioro de la red de medición hidrométrica en los últimos 20 años y los antecedentes de un sistema de alerta hidrológico para esta cuenca. Se presentan las acciones vinculadas con la reactivación de la toma de datos y los avances en la ejecución de una red telemétrica en el marco del recientemente creado Ministerio de Asuntos Hídricos.

Palabras claves crecidas extraordinarias; Río Salado; red hidrométrica; sistema de alerta; Argentina; Santa Fe

The Salado River basin (Santa Fe, Argentina) flood warning system: advances in its implementation

Abstract The extraordinary flood on the Salado River in April and May 2003 has been catalogued as the worst environmental catastrophe in Argentina in recent decades. The effects on the city of Santa Fe—with 23 people killed and more than one hundred people injured—were increased by the previous human actions, and, among other factors, the lack of prevention measures. This work presents an analysis of the hydrometric network and its deterioration over the last 20 years and the precedents of a flood alert system for this basin. Actions linked with the re-activation of the collection of information and the advances in the establishment of an automatic network are presented within the framework of the recently created Ministry of Water Affairs.

Key words catastrophic flood; Salado River; streamgauge network; alert system; Argentina; Santa Fe

DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA INFERIOR DEL RÍO SALADO

La cuenca del Río de La Plata se ubica en segundo lugar por su extensión en Sudamérica (3 150 000 km²). Tiene tres grandes subcuencas: las de los Ríos Paraná, Paraguay y Uruguay (Fig. 1). La subcuenca del río Paraná es compartida por cuatro países: Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay.

El río Salado es uno de los principales afluentes del río Paraná en territorio argentino y su cuenca tiene una superficie de 94 750 km². Descarga sus aguas entre las ciudades de Santa Fe (350 000 hab.) y Santo Tomé (60 000 hab.), con un caudal módulo de 144.70 m³ s⁻¹. Las condiciones naturales de la cuenca varían enormemente a lo largo de los 1500 km de longitud del curso por lo que la cuenca inferior tiene un comportamiento netamente diferenciado del resto. Ésta abarca una superficie de 30 400 km² y el régimen hidrológico está fuertemente influenciado por las precipitaciones locales. Este sector se encuentra casi en su totalidad dentro del territorio de la Provincia de Santa Fe. Recibe además el aporte de un área deprimida denominada Bajos Submeridionales cuya superficie es de 27 900 km². La cuenca inferior tiene una suave pendiente Noroeste–Sudeste, entre 0.01% y 0.05% y las cotas del terreno varían entre los 90 y 15 m sobre el nivel del mar. Los suelos son predominantemente limosos, de origen eólico, dedicados en su mayoría a la producción agropecuaria.

En cuanto a las precipitaciones medias anuales existe un gradiente en el sentido Este–Oeste, de 1200 mm a 900 mm (1971–2000), originando una transición desde un clima sub-húmedo en las zonas oriental y central a semiárido en el límite occidental (FICH 2006). El régimen de precipitaciones en la Pampa Húmeda manifiesta un cambio (Canziani, 2003; FICH, 2006), demostrado por el aumento de frecuencia e intensidad de las lluvias convectivas y un incremento generalizado de los montos anuales de precipitación, efectos que se verifican en todo el territorio de la provincia de Santa Fe y se expresan en el desplazamiento de las isohietas hacia el oeste, con un aumento del orden del 25% en los montos anuales en los últimos 30 años.



Fig. 1 Mapa de la Cuenca del Plata. Las letras designan los principales ríos: (A) Paraná, (B) Paraguay, (C) Uruguay, (D) Pilcomayo, (E) Bermejo, (F) Salado (G) Salado del Sur, y (H) de la Plata.

El caudal del Río Salado se compone principalmente por la descarga de los acuíferos superficiales en períodos secos, y por el exceso de precipitaciones en períodos húmedos.

De acuerdo con estudios previos (INCYTH, 1986) las situaciones más críticas en cuanto a crecidas, se originan por la superposición de los derrames de los Bajos Submeridionales (que son prolongados en el tiempo) con los aportes de las subcuencas locales, que provocan picos de considerable magnitud y corta duración según la localización y extensión de las tormentas. A su vez, el sistema fluvial del Río Paraná influye en los niveles del Río Salado en su descarga por efectos de remanso. Los caudales diarios son muy variables. Antes de la crecida de 2003, se registraron dos picos máximos del orden de los $2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante las crecidas de 1973 y 1998. Entre esas fechas, se registró un caudal mínimo diario de $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en enero de 1995.

La crecida de abril–mayo de 2003 y sus efectos

Una serie de tormentas con precipitaciones intensas entre los días 23–25 de abril de 2003—con valores puntuales de hasta 388 mm—cayeron sobre suelos totalmente saturados por lluvias antecedentes, en áreas vinculadas directamente al cauce del río, dando origen a esta excepcional crecida (Ferreira, 2005). El caudal máximo generado en la Estación Ruta Provincial no. 70, situada a 25 km aguas arriba de la ciudad de Santa Fe, fue de $4000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ el día 29 de abril de 2003 y superó a los registros históricos de más de 50 años. La recurrencia calculada para esta crecida, según distintos autores se sitúa entre 500 y 800 años (DPOH, 2003; Ferreira, 2005; Bacchiaga *et al.*, 2005).

Los efectos sobre la ciudad de Santa Fe—con 23 víctimas fatales y más de un centenar de víctimas colaterales—fueron magnificados por la acción antrópica previa, (Fig. 2) principalmente la ocupación urbana del valle de inundación y la rotura de un tramo de defensa lateral existente con graves falencias en su proyecto y ejecución, que determinó el ingreso abrupto de caudales, a manera de rotura de presa (DPOH, 2003; Ferreira *et al.*, 2004; Vionnet *et al.*, 2005). Según CEPAL (2003), el monto total de los daños y pérdidas en la cuenca del Río Salado asciende a los 1028 millones de dólares. De la cifra anterior, un 35% representa daños directos y el 65% a pérdidas indirectas. La falta de medidas de previsión hídrica fue otro de los factores coadyuvantes del desastre.



Fig. 2 Vista aérea del Oeste de la ciudad de Santa Fe, donde se aprecian barrios afectados por el ingreso masivo y repentino de agua.

EVOLUCIÓN DE LA RED HIDROMÉTRICA PROVINCIAL

De acuerdo con Bertoni *et al.* (1998) la red de drenaje provincial supera los 9450 km, en tanto que —a fines de los 1990s— un 42% de la misma estaba constituida por canales artificiales. Esta infraestructura ha sido ejecutada en los últimos ochenta años y en escasas ocasiones fue acompañada con inversiones en instalación y operación de redes de observación hidrométrica.

El inicio de los registros comienza en los 1930s, estando a cargo en su mayor parte de la administración provincial. Un antecedente importante del esfuerzo por instalar y operar estaciones; realizar mediciones y estudios (INCYTH, 1986) fue el proyecto “Análisis y Planeamiento del Uso y Control de los Recursos Hídricos de una Cuenca de Llanura (Río Salado)”. Por su parte, la provincia impulsó la instalación de estaciones luego de una inundación que sufrió el área centro de la misma en 1981.

A mediados de la década de 1990 y como resultado de una política de abandono por parte de los Estados nacional y provincial de las tareas primordiales de evaluación y monitoreo de los recursos hídricos comienza el deterioro y pérdida de calidad de la red hidrométrica. A fines esa década, desde el sector científico-técnico (p. ej.: FLAGS, 1999) se insistía en la necesidad imperiosa de contar con mediciones sistemáticas de precipitaciones; niveles y caudales en los ríos y de niveles de agua subterránea (Fig. 3). La recuperación de estaciones que se evidencia en los últimos años son acciones realizadas a posteriori del evento de abril–mayo de 2003.

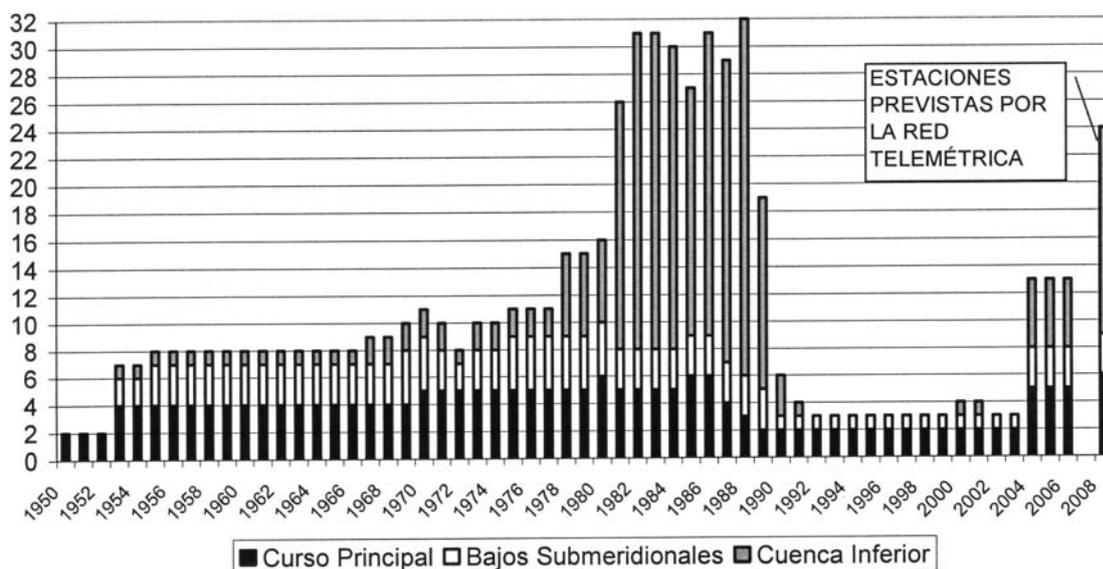


Fig. 3 Evolución del número de estaciones hidrométricas en la Cuenca Inferior del Río Salado. Entre 1992 y 2003, las estaciones correspondientes a los afluentes no operaron.

En coincidencia con Reyna *et al.* (2003) se puede afirmar que la mayoría de las estaciones situadas en el centro de la provincia de Santa Fe poseen insuficiente longitud de años de registro y discontinuidad de datos.

Solicitudes previas de un sistema de alerta hidrológico

Existen -aunque escasos- antecedentes de solicitudes de un sistema de alerta. El primero fue efectuado a posteriori de un conflicto por sequía que desató una crisis interprovincial, se recomendaba: “Planificar un sistema de alerta hidrológico en la cuenca del río Salado que tome en cuenta las situaciones extremas de inundaciones y sequías” (Ferreira, 1997). Más adelante, durante las inundaciones desencadenadas por el Evento El Niño de 1998 se reclamó la automatización de dos estaciones ubicadas en el río Salado, aguas arriba de la ciudad de Santa Fe de las que se consideraba debían integrar la red telemétrica del río Paraná (DPOH, 1998). La zona de confluencia de los ríos Salado y Paraná estaba identificada como una de las principales áreas con riesgo de inundación (Valdés & Fattorelli, 1999). Hacia fines de 2002, en el marco del Proyecto de Protección Contra Inundaciones—Préstamo BIRF 4117-AR, la intención de montar estaciones telemétricas en la cuenca estaba en manos del Estado Nacional (Secretaría de Obras Públicas 2002).

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO

La reacción post-desastre del conjunto de la sociedad santafesina dio origen a la introducción de cambios institucionales que derivaron en la creación de un Ministerio de Asuntos Hídricos a nivel provincial, con misiones y funciones específicas relativas, entre otras, a la toma de datos hidrométricos y a la prevención hídrica (Ley Provincial no. 12.257 y Decreto no. 0014/2004).

La experiencia en países desarrollados indica que para lograr un adecuado manejo del riesgo de inundación, los sistemas de alerta y pronóstico hidrológico y los sistemas de respuesta y mitigación contra las inundaciones deben estar fuertemente interrelacionados. Entre los aspectos que hacen al perfeccionamiento de los primeros se encuentran el potenciamiento de las redes hidrométricas y telemétricas de recolección de datos (Fattorelli *et al.*, 1995). La visión es semejante en los países de la Cuenca del Plata y ha sido expresada en diversas reuniones técnicas (p. ej.: OMM-CIC, 2003).

De las acciones encaradas por la Provincia de Santa Fe, hasta el presente merecen mencionarse:

- (a) Mejoramiento de la red pluviométrica e hidrométrica: Se instalaron 35 pluviómetros y se inspeccionaron otras 19 estaciones en operación en la cuenca inferior del Río Salado, totalizando 54 estaciones instaladas bajo las normas de la OMM. La información generada está disponible al público a través de la página web del Gobierno Provincial. El seguimiento de niveles del río se informa diariamente a través de medios masivos de difusión, tarea que se realiza en forma ininterrumpida desde el mes de Enero de 2004.
- (b) Elaboración de un modelo de pronóstico: En una primera etapa se plantea obtener un modelo hidrológico de tipo estadístico de regresión múltiple. Se pronosticarán los caudales medios (y las alturas hidrométricas correspondientes) del río Salado en la Ruta Prov. no. 70 para 5 plazos de pronóstico, aplicando la siguiente ecuación lineal (FICH 2006):

$$Q_{t+T} = \sum_{i=0}^n a_i Q_{t-i\Delta t} + \sum_{k=1}^z \sum_{j=0}^{m_k} a_j^k I_{t-j\Delta t}^k + b \quad (1)$$

Q : caudal (o altura hidrométrica) en la sección de pronóstico (Ruta Prov. no. 70) en el intervalo de 24 h previo al tiempo indicado por el subíndice (variable dependiente), t : tiempo actual, T : plazo de pronóstico, variando de $1 \Delta t$ a $5\Delta t$ ($\Delta t = 24$ h), I^k : caudal medio (o altura hidrométrica) en la sección genérica k (aguas arriba o aguas abajo), en el intervalo de 24 h previo al tiempo indicado en el subíndice (variable independiente), z : cantidad de variables independientes consideradas en la regresión, a_i , a_j^k , y b : coeficientes de la ecuación de regresión (a ajustar), n y m_k : cantidad de términos de las variables dependiente e independiente k (correspondientes a tiempos anteriores), respectivamente, considerados en la regresión. Esta etapa está en pleno desarrollo.

- (c) Implementación de la red telemétrica: A través de una licitación pública se ha contratado la instalación y la gestión inicial por dos años de una red de monitoreo y transmisión de datos, que constará de una Estación Central y 35 estaciones remotas (las tareas iniciaron en Febrero de 2006). Las estaciones remotas han sido clasificadas de la siguiente manera (entre paréntesis la cantidad): Tipo A1: Medición pluviométrica; pluviográfica y de humedad de suelo (9); Tipo A2: Medición pluviográfica y freaticográfica; temperatura; humedad relativa; presión barométrica; humedad del suelo; evaporación; radiación solar; velocidad y dirección del viento (5), Tipo B1: Medición limnigráfica (14) y Tipo B2: Medición limnigráfica y de calidad de agua superficial-temperatura del agua, oxígeno disuelto; PH y conductividad (10).

Acciones previstas a futuro

Los aspectos organizativos e institucionales están en la etapa de definición y son elementos claves para que se pueda llevar adelante un adecuado servicio de prevención hídrica con la eficiencia requerida para toda la provincia de Santa Fe. Basándose en los requisitos para el manejo de la información hidrológica, que influyen sensiblemente en la forma de organizar el trabajo de operación de las redes (OMM/UNESCO 1998) se deberá disponer a corto plazo de los diferentes tipos de datos, buscando aumentar la resolución espacial y temporal de la información tratando de lograr largas series de datos confiables.

REFERENCIAS

- Bacchiega J. D., Bertoni J. C. & Maza J. A. (2005) Pericia hidráulica. Expediente no. 1341/2003. *Poder Judicial de la Provincia de Santa Fe*. Santa Fe, Argentina.
- Bertoni, J. C., Zucarelli, G. V., Moréis, M. V. & Rodríguez, D. (1998) Aspectos fisiográficos e hidráulicos asociados a la red de drenaje santafesina. *Anales del XVII Congreso Nacional del Agua*. t. 2 (Santa Fe, Argentina), 364–373.
- Canziani, O. F. (2003) Extreme precipitation events and floods in the Pampas flatlands, in the Province of Buenos Aires. In: *IPCC-WMO Working Group II 3 UNEP Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability – IPCC Workshop on the Detection and Attribution of the Effects of Climate Change* (New York, USA, June 2003. <http://ensembles-eu.metoffice.com/IPCC/DA.pdf>).
- CEPAL (2003) Las inundaciones de 2003 en Santa Fe, Argentina. Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental. <http://www.eclac.cl/argentina/noticias/noticias/0/12620/presentacion.pdf>.
- Fattorelli, S., Casale, R., Borga, M. & Da Ros, D. (1995) Integrating radar and remote sensing techniques of rainfall estimation in hydrological applications for flood hazard mitigation. The European contribution: perspectives and prospects. European Commission. Directorate General XII Science, Research and Development, Brussels.
- Ferreira, G. (1997) Conflicto entre las Provincias de Santiago del Estero y Santa Fe – Argentina – por las aguas del río Salado (Año 1996). *1er. Foro Interamericano de Gestión de los Recursos Hídricos – Encuentro de las Aguas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Fortaleza, Brasil.
- Ferreira, G. (2005) La crecida extraordinaria del río Salado en abril-mayo de 2003 (Provincia de Santa Fe – Argentina). Aspectos hidrológicos. *Anales del XX Congreso Nacional del Agua*. Mendoza, Argentina.
- FICH (Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas) (2006) Implementación de un Sistema de Alerta Hidrológico para la Cuenca del río Salado. *Convenio FICH-MAH. Etapa I*. Informe parcial. Enero 2006.
- FLAGS (1999) Simulación en gran escala de la interrelación entre el Flujo de AGUAS Superficiales y el Flujo de AGUAS Subterráneas. Propuesta del Proyecto. PID'99 no. 74. Agencia Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina.
- INCYTH (1986) *Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Salado*, vol. 1 y 2. Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hídricas, Santa Fe, Argentina.
- OMM-CIC (2003) Informe sobre reunión técnica de alerta hidrológica con consideración de los aspectos de Calidad de Agua y Anexos. Reunión Técnica en el Marco de la Cooperación OMM – CIC . Buenos Aires, Diciembre de 2003. <http://www.oas.org/osde/plata/pdf/anexo-dic03.pdf>.
- OMM-UNESCO (1998) Evaluación de los recursos hídricos. Manual para la estimación de las capacidades nacionales. UNESCO, París, France.
- Reyna J. L., Moréis, M. V., D'Elia, M. P. & Paris, M. C. (2003) Análisis de la información hidrométrica del centro de la provincia de Santa Fe. *Cuadernos del CURIHAM* 9(1), 43–53. Rosario, Argentina.
- Secretaría de Obras Públicas (2002) Proyecto de Protección contra Inundaciones. Préstamo BIRF 4117-AR. En: *OBRAS PÚBLICAS*, Marzo–Diciembre 2002, 6–7. Secretaría de Obras Públicas – Presidencia de la Nación, Argentina.
- Valdés, J. B. & Fattorelli, S. (1999) Sistemas operacionales de pronóstico. Revisión y aplicación a las cuencas de los Ríos Paraná, Paraguay y Uruguay. SUCCE Programa de Rehabilitación Contra las Inundaciones, Argentina.
- Vionnet C. A., Tassi, P. A., Rodríguez, L. B. & Ferreira, C. G. (2005) Numerical modelling of the catastrophic flooding of Santa Fe city, Argentina. In: *Third International Symposium on Flood Defence. Floods, from Defence to Management* (May 2005, Nijmegen, The Netherlands).