

# **TALLER SOBRE EL AGUA:**

## **UNA VISIÓN CIENTÍFICO TECNOLÓGICA DE LOS DESASTRES POR EXCESOS HÍDRICOS**

**Comité de redacción: Dr. Raúl A. Lopardo, Ing. Rafael Seoane e Ing. Carlos Paoli**

### **Introducción**

El problema del agua está planteado por los organismos internacionales como uno de los más relevantes para el presente siglo. Así como el agua es indispensable para el desarrollo y la calidad de vida, su utilización y manejo tienen gran incidencia en los aspectos ambientales.

Un problema muy importante en la vida de las sociedades son los desastres debidos a la ocurrencia de excesos hídricos. El objetivo de este trabajo es definir distintos aspectos de problemas relacionados con la ocurrencia de inundaciones, la importancia de los sistemas de alerta, el impacto del cambio climático en Argentina y un análisis hidrológico de la importante crecida ocurrida en la cuenca del río Salado que afectó a la ciudad de Santa Fe.

El planteo de una visión científico tecnológica del agua mueve a algunas reflexiones particulares. La visión "científica" se relaciona íntimamente con la caracterización y propiedades del agua y la visión "tecnológica" se refiere a la identificación del agua como "recurso", dado que éste se define como el "medio de cualquier clase que, en caso de necesidad, sirve para conseguir lo que se pretende" desplegando un arte.

Si se analizara la evolución de tal visión científico tecnológica del agua a lo largo de los tiempos hasta el presente, se observaría una tendencia a considerarle como un producto esencialmente natural. En la actualidad, se le asigna una "dimensión ambiental", vinculando esa naturalidad con la sociedad. Parece oportuno citar que en un documento de la Royal Geographical Society del Reino Unido, fechado en 1980, se postula que "el agua constituye una cuestión geográfica" y que la misma seguiría siendo un tema fundamental en la geografía del futuro, puesto que se ponen en evidencia las implicaciones socioeconómicas de la hidrología.

Este aspecto se pone en evidencia por el interés que la sociedad ha desplegado en tantos foros multidisciplinarios sobre la relación simbiótica entre el agua y la vida del hombre. Precisamente, como resultado de la Conferencia Cumbre de Johannesburgo del 2003, se está transitando por "el Año Internacional del Agua Dulce".

Aún cuando Virgilio, hace más de dos mil años dijera que "la naturaleza impone las leyes y los pactos eternos a determinados lugares" y ello podría ser cierto entonces y por casi diecinueve siglos, actualmente no es lo mismo debido a la influencia del hombre en los procesos naturales. El Cambio Climático Global está a la vista, y el agua como integrante del clima merece también un sistemático estudio revisionista de su problemática.

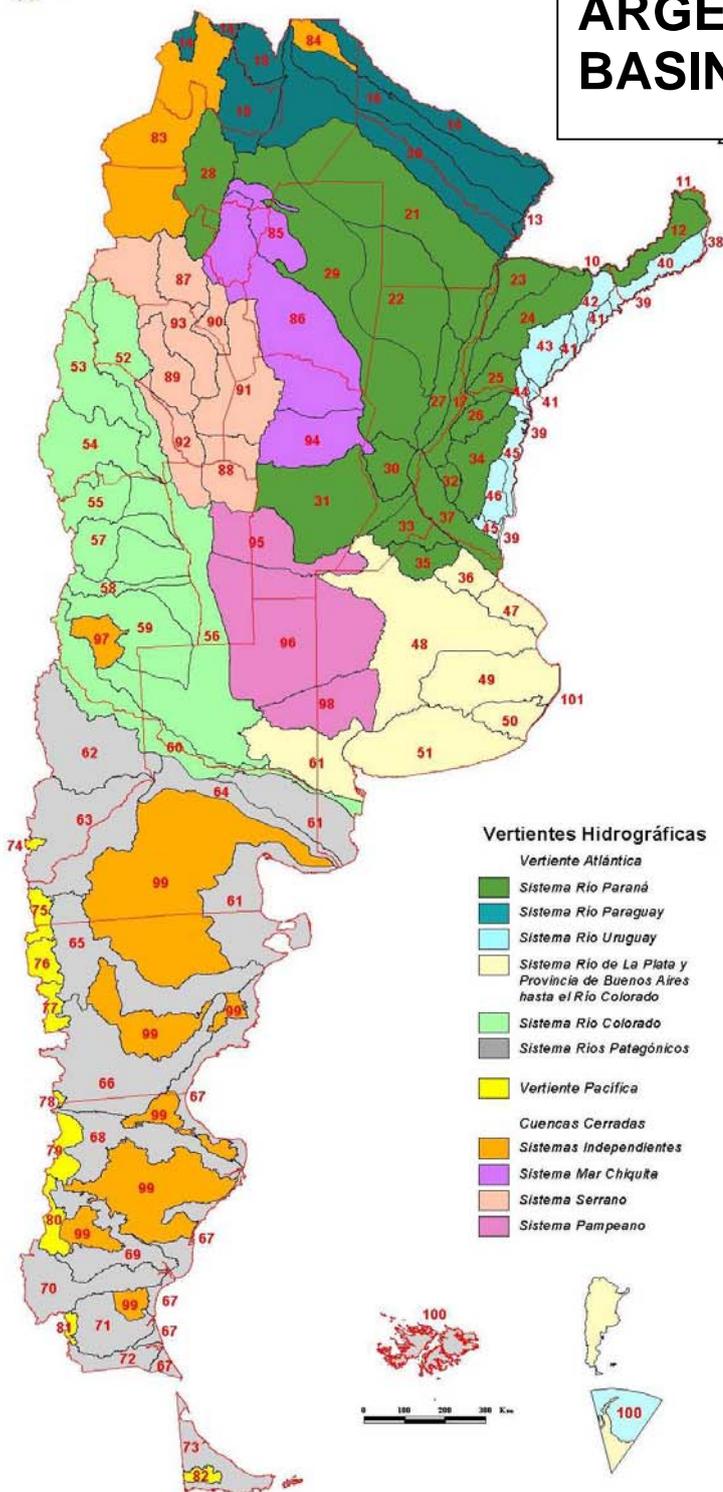
Es evidente que la planificación, a través del desarrollo de un plan maestro a nivel de cuenca para la defensa de inundaciones, que vincule y asocie estructuras y obras de protección con soluciones no estructurales para el control y mitigación de emergencias, es una tarea tan importante como impostergable. Esa tarea debe desarrollarse en tiempos de calma, en momentos en los que

aunque los pueblos "se olviden del agua" por ausencia de crecidas depredadoras, las autoridades tengan presente las necesidades básicas y aseguren los criterios de previsión indispensables, como política de estado.

### **Las inundaciones en la cuenca del Plata**

Desde un punto de vista antrópico se puede definir en forma general a las inundaciones como la presencia de agua sobre el terreno en lugares, formas y tiempos que resultan inadecuados para las actividades humanas y por lo tanto, producen afectaciones económicas, sociales y ambientales.

# ARGENTINE'S BASINS



Resulta claro por lo tanto que se conjugan tres elementos que determinan una situación de inundación: el origen o fuente de las aguas, las características naturales del medio físico (complejo-relieve-suelo-vegetación) y el tipo de uso y ocupación del espacio.

El régimen de lluvias característico de cada zona o región da lugar a la presencia de cantidades de agua habituales o de extremos, tanto de exceso como de déficit, que producen fenómenos naturales de crecidas y estiajes de los cursos de agua, que a la vez pueden dar lugar a situaciones de inundaciones y sequías.

La crecida de un río, o una tormenta severa, son fenómenos naturales que forman parte de los procesos hidrológicos propios de las características meteorológicas y fisiográficas de cada región, mientras que la inundación es un concepto de afectación del medio natural y construido producto de la ocupación o utilización del medio.

La Argentina presenta una muy desigual repartición espacial de sus recursos hídricos, tendiendo a desastres por sus excesos (inundaciones, aluviones) así como por sus carencias (sequías, desertificación). Las regiones húmedas cubren un 24% de la superficie total del país, pero incluyen al 68% del total de la población argentina. El caudal medio que escurre por aguas superficiales en Argentina es de 25.836 m<sup>3</sup>/s, lo que equivale a un valor de volumen del orden de 22.000 m<sup>3</sup> por habitante por año, veintidós veces mayor que el volumen de "nivel de stress hídrico" adoptado por las Naciones Unidas. Por otra parte, las regiones áridas se extienden a un 61 % de la superficie total, contando con sólo el 6% de la población total del país. Es de considerar que la cuenca del Plata descarga al Océano Atlántico el 86% del caudal total fluvial de la República Argentina.

En 1982/83 y en 1992 ocurrieron severas crecidas a lo largo de los ríos Paraná y Paraguay, que se extendieron también al río Uruguay. La crecida de 1982/83, que duró más de un año y tuvo un caudal máximo de 60.200 m<sup>3</sup>/s en la confluencia Paraná-Paraguay, inundó una superficie de más de 30.000 km<sup>2</sup>, generando la evacuación de alrededor de 100.000 personas y provocando un daño estimado en más de 2.000 millones de dólares. A raíz de las inundaciones producidas durante ese período la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, a cargo del Ing. Bruno Ferrari Bono, puso en funcionamiento un Centro Operativo de Alerta Hidrológico (COAH) cuya operación fue confiada al actual Instituto Nacional del Agua (INA).

### **Los sistemas de alerta**

Un sistema hidrológico de alerta temprana transmite a los medios de defensa civil y control de desastres la información anticipada de eventos hidrológicos extraordinarios. El pronóstico debe ser preciso, pues un error por defecto en las alturas de crecidas pronosticadas puede llevar a inundaciones imprevistas y un error por exceso puede llevar a gastos innecesarios y a la pérdida de credibilidad en el sistema ante futuros eventos. La precisión y la regularidad de la información aseguran la preservación de vidas y minimizan las posibles pérdidas de bienes materiales de quienes habitan la zona afectada o de quienes desarrollan actividades económicas en ella. Los sistemas de alerta de cuencas de llanura deben informar no sólo la fecha del evento y la altura esperable con cierta precisión sino también el período de permanencia de los niveles de inundación.

Es importante señalar que el sistema de alerta debe funcionar en forma continua, dado que se pronostican tanto crecidas como bajantes, ya que estas últimas pueden afectar la navegación en el río Paraná. Para las ciudades de Rosario y de Santa Fe se estiman las alturas hidrométricas diarias con más de veinte días de anticipación, dando luego correcciones a partir de la influencia de lluvias locales. En cada ciudad costera importante se pronostican con diferente anticipación esas alturas, señalando oportunamente cuando se alcanzan los niveles de alerta y los de evacuación en cada caso.

En la crecida de 1992, en la que ya el sistema de alerta temprana del INA estaba activo, se registraron daños materiales de un orden de 500 millones de dólares. Esta crecida fue sensiblemente mayor que la registrada en 1966 y sin embargo los daños materiales fueron inferiores, a pesar de que las inversiones y los pobladores en el valle fluvial se habían incrementado de modo importante.

En cuencas de respuesta rápida (zonas serranas y montañosas), si se tiene el aviso certero con suficiente anticipación los sistemas de alerta pueden evitar muertes, ya que difícilmente alguien sería sorprendido por el evento. Desde que hace más de quince años se instaló el sistema de alerta con red telemétrica en la cuenca del río San Antonio, en las sierras de Córdoba (región semiárida central de Argentina). Ese sistema funciona las veinticuatro horas entre los meses de diciembre y marzo (época turística) y debe dar las señales de alerta y evacuación con muy pocas horas de tiempo, para evacuar turistas y "campings" ubicados en zonas de riesgo. En el presente año se ha visto expuesto a problemas judiciales derivados de la percepción del riesgo por parte de los responsables de defensa civil y el público usuario de la oferta ambiental de la cuenca. La existencia de sistemas de alerta es de gran utilidad pero no evita de modo integral la posibilidad de existencia de daños, la magnitud de los cuales resulta en función de la percepción del riesgo, es decir cómo las personas sujetas a sufrirlos toman conciencia de que están expuestas al desarrollar actividades en zonas vulnerables.

### **Medidas para la mitigación de desastres hídricos**

Ante una necesidad de definición de metodología de acción contra las inundaciones, debe aclararse que no existe una respuesta única válida para todas las circunstancias y todas las regiones ni que asegure una protección completa.

En realidad pueden sumarse las obras de protección (medidas estructurales) con medidas no estructurales tendientes a disminuir los costos y riesgos de las inundaciones. La mitigación de los desastres por inundación no depende sólo de acciones que pueden desarrollarse durante las crecidas sino que deben ser producto de una combinación de acciones previas de prevención, manejo operacional de crecidas y reconstrucciones y revisiones posteriores al pasaje de las aguas.

Las actividades de prevención incluyen aspectos tales como: el manejo de riesgos de crecidas, la planificación de contingencias de desastres, para establecer rutas de evacuación, umbrales críticos de decisión, requerimiento de servicios públicos e infraestructura para operaciones de emergencia, la construcción de la infraestructura de defensa contra inundaciones, tanto estructurales como no estructurales (obras físicas y sistema de alerta), el mantenimiento de la infraestructura de defensa contra inundaciones, la planificación y manejo del territorio en toda la cuenca de aporte, las acciones para desalentar el desarrollo inapropiado en las planicies de inundación, y la comunicación y educación a los pobladores del riesgo de crecidas y de las acciones que tendrán lugar durante la emergencia.

Las actividades de manejo operacional de crecidas puede considerarse como una secuencia de cuatro actividades: la detección hidrometeorológica de la probabilidad de formación de crecidas, el pronóstico de las condiciones de escurrimiento, el alerta de la severidad y tiempo en que llegará la crecida y la respuesta a la emergencia por parte de autoridades y pobladores. En este tema resulta evidente la necesidad de desarrollar modelos matemáticos y técnicas específicas para la estimación de las variables que son utilizadas para el alerta y prevención de poblaciones.

Las actividades posteriores al paso de la crecida, dependiendo de la severidad de la misma, pueden incluir la ayuda para necesidades inmediatas a los afectados por el desastre, la reconstrucción de los edificios, obras de infraestructura y de defensa afectados, la recuperación y regeneración del ambiente y de las actividades económicas en el área inundada y la revisión de las actividades de manejo y planificación, a tener en cuenta para futuros eventos.

En ocasiones, la presencia de una obra de protección da a los pobladores una falsa sensación de seguridad, puesto que la misma está diseñada para un cierto estado crítico, que naturalmente puede ser superado.

Si bien las medidas no estructurales cubren un amplio campo de especialidades, pues van desde la educación ambiental de la población hasta el mejoramiento de las comunicaciones, es importante citar como ejemplo fundamental a los sistemas de alerta temprana, que se basan en un pronóstico a mediano plazo de las posibilidades de inundación.

### **La inundación por ascenso de niveles freáticos**

Durante los últimos cien años la zona del Gran Buenos Aires de la República Argentina que incluye la Capital Federal y diecinueve distritos ha sufrido un proceso de crecimiento demográfico y de actividades económicas muy intenso, constituyendo uno de los conglomerados urbanos más densos del mundo.

La Región Metropolitana concentra, en casi 4.000 km<sup>2</sup>, a la tercera parte de la población del país y aproximadamente la mitad de sus actividades económicas, amén del hecho de incluir en su territorio a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, sede del gobierno nacional. Sin embargo, ese desarrollo no fue acompañado por las transformaciones de infraestructura necesarias ni la visión ambiental totalizadora para que la ciudad pudiera contener semejante cantidad de población y actividades y que permitieran absorber y capitalizar dichas transformaciones. Esta situación fue conformando una crisis de magnitud considerable que se manifiesta en varios aspectos: social, económico, urbano, político y de calidad ambiental. Uno de sus casos más relevantes es el de la gestión integral del agua en el área y su impacto ambiental para un crecimiento urbano sustentable. En ese contexto, el agua subterránea es de gran importancia, ya que históricamente ha constituido un porcentaje importante del abastecimiento público y es la única fuente de abastecimiento en las áreas sin cobertura de la red de agua.

Es interesante destacar que en la región metropolitana de Buenos Aires conviven cuatro formas de gobierno diferentes que ejercen su jurisdicción sobre el territorio y la población lo que hace que un enfoque de protección del ambiente y contribución al desarrollo sustentable resulte sumamente dificultoso.

Desde hace algunos años se ha comenzado a observar que el nivel freático ha ascendido en forma determinante en grandes superficies de la región, provocando una especie de inundación desde el subsuelo, existiendo una marcada controversia acerca de los motivos y eventuales medios de control del fenómeno. En un primer estudio de diagnóstico se han analizado las siguientes posibles causas, para su posterior cuantificación:

- a) alteración del régimen de precipitaciones pluviales en escala prolongada de tiempo,
- b) importación de agua a la región a través de red de agua corriente,
- c) pérdidas de la red de distribución de agua,
- d) alto consumo de agua por habitante,
- e) déficit de evacuación de aguas servidas mediante cloacas,
- f) cese de la provisión de agua potable de origen subterráneo,
- g) cese del bombeo domiciliario,
- h) cese del bombeo industrial,
- i) incremento del riesgo sanitario.

A fines del año 2000, el INA creó un Programa destinado a estudiar integralmente éste fenómeno, cuyo objetivo inicial fue identificar las causas en la variación de niveles de la superficie freática, estimar de modo porcentual la responsabilidad de cada variable, definir áreas sujetas a efectos de subpresión y afloramiento de la napa freática, generar acciones de información y difusión sobre la problemática y proponer acciones de remediación a corto plazo. Las acciones de este Programa comenzaron efectivamente a partir del estudio de un caso específico, para el que se seleccionó el Municipio de Lomas de Zamora. Es de destacar que la elección del partido de Lomas de Zamora se debió a que en el mismo, a partir del año 2000, se había declarado la emergencia hídrica y también a que se contaba con numerosos estudios antecedentes en la zona. Mediante el proyecto se consideraron como objetivos básicos:

- Identificar las causas en la variación de niveles de la superficie freática.
- Estimar de modo porcentual la influencia de cada variable.
- Definir áreas sujetas a efectos de subpresión y/o afloramiento de la napa freática.
- Proponer algunas acciones de remediación a corto plazo.
- Desarrollar acciones de difusión sobre la problemática ante los actores sociales involucrados.

Cada una de las acciones deben ser analizadas de modo holístico, incluyendo la evaluación de impacto ambiental que eventualmente les correspondiere, con sus medidas de mitigación de carácter regional y de carácter local.

## **El cambio climático**

La temperatura promedio global del planeta en superficie aumentó 0,6° C en los últimos 100 años. Se trata de una tendencia inédita en los últimos 1000 años. No caben dudas de que se está produciendo un proceso de calentamiento global ya que todos los indicadores planetarios son consistentes en tal sentido. Por ejemplo, entre otros muchos indicadores, se observa una retirada general de los glaciares y la temperatura de la superficie del mar se calentó al menos en 0,6° C. El nivel medio del mar registró un aumento de unos 15 cm en el último siglo que se ha acelerado en las últimas décadas tanto por la dilatación térmica como por el deshielo de la criósfera. Hay también una aceleración del ciclo hidrológico, lo que es consistente con una mayor temperatura. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) en su informe del año 2000 ha

concluido que la tendencia al calentamiento observada en el siglo XX tiene una importante componente de origen antrópico.

En los procesos de calentamiento o enfriamiento globales como el que se está registrando, las tendencias regionales no son uniformes y en general los mayores cambios se observan en latitudes altas. Como consecuencia de ello, estos cambios generan cambios en la circulación de los vientos y por lo tanto en los regímenes de precipitación. Es decir, se trata de procesos que entrañan cambios en todas las variables del Clima. La variabilidad del clima es producto de diversos factores. Sin embargo, en la escala de los decenios y centurias sólo son importantes las variaciones de la radiación solar, los cambios de actividad volcánica, la variabilidad interna y por acción antrópica los cambios de concentración de los gases de efecto invernadero.

Hoy, se ha llegado a simular el Clima mediante modelos climáticos globales (MCG) que reproducen muy ajustadamente el clima global, aunque aún presentan ciertas deficiencias en las escalas locales y regionales. Mediante estos modelos se sabe que no sólo gran parte del cambio térmico global observado es atribuible a la actividad antrópica, sino que incluso a ello se deben algunos cambios observados en la presión a nivel del mar. Se ha probado, por ejemplo que el patrón global de cambio de la presión a nivel del mar del trimestre correspondiente al verano austral es en gran medida atribuible a las emisiones de gases de efecto invernadero y de sulfatos. Este patrón de cambio incluye como una característica importante el desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur. Recientemente, hemos mostrado que este desplazamiento esta asociado a una creciente predominancia de los patrones típicos del verano en desmedro de los de invierno a lo largo de todo el año.

América del Sur, en especial por debajo del paralelo de 20° S es la región subcontinental con la mayor tendencia positiva en la precipitación anual durante el siglo XX. Ello a pesar de que esta tendencia fue marcadamente negativa al oeste de los Andes. En las últimas cuatro décadas, el aumento en las precipitaciones medias anuales fue mayor al 10 % en la mayor parte del territorio argentino al norte de 40° S y en ciertas zonas hasta más de 30%. En consonancia con ello, aumentaron notoriamente los caudales de los ríos y se registró una mayor frecuencia de eventos con precipitaciones por encima de 100 mm. en toda la Pampa Húmeda. Estos eventos son los que conducen generalmente a inundaciones, sobretodo si las condiciones del terreno no facilitan el escurrimiento o lo concentran en determinados lugares.

Una forma de manejar las incertidumbres del futuro es el desarrollo de escenarios. Esta técnica está extendida en la economía y en otras disciplinas prospectivas. Un escenario futuro no es una predicción, sino un estado coherente de las distintas variables del sistema bajo la suposición de que se produjeran ciertas circunstancias que lo determinan. En el caso que nos ocupa, se construyen escenarios climáticos globales a partir de ciertas hipótesis en la evolución de las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero. Estas emisiones son a su vez una consecuencia de la evolución demográfica, socioeconómica y tecnológica de la humanidad y de posibles decisiones políticas respecto de las emisiones en cuestión. No obstante ello, sólo después de los próximos treinta años, los escenarios climáticos son sensibles a estos cambios y en consecuencia divergen entre sí. Ello se debe a la inercia, tanto de las concentraciones de los gases de efecto invernadero como de la respuesta térmica del planeta. Por lo tanto, los escenarios climáticos para los próximos treinta años podrían ser considerados predicciones en la medida que los MCG que los producen fueran confiables.

Los MCG son confiables en la medida que demuestran ser capaces de predecir el clima pasado y presente. Las verificaciones que se hacen al respecto indican que más que una verificación total, los MCG han mostrado distinta habilidad para predecir distintas variables climáticas con también resultados distintos en distintas regiones del planeta.

El análisis de los siete MCG de mayor sofisticación del mundo se realizó para la región sudamericana y del Atlántico occidental comprendida entre 15° y 45° S. Se compararon los campos medios de la presión anual y su ciclo anual simulados por los modelos con el clima observado. Sólo cuatro modelos reprodujeron satisfactoriamente los campos de presión al nivel del mar (campos medios anuales, ciclo anual, tendencias observadas como el desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur). Esto permite atribuir dicho desplazamiento a las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero, ya que estas emisiones son el único forzante de los experimentos realizados con los modelos.

La simulación de la precipitación, en todos los casos fue inaceptable con una subestimación que en la zona de mayor precipitación es del orden de 30 % en el mejor de los casos. Ante esta situación se están contemplando diversas alternativas para construir escenarios medianamente confiables. Mientras tanto y dado que el gran cambio en las precipitaciones se registró simultáneamente con el de la presión a nivel del mar, conviene tener en cuenta los escenarios futuros de la presión del nivel del mar. Los cuatro modelos muestran la misma tendencia lo largo de todo el siglo XXI con una continuación del desplazamiento del anticiclón del Atlántico Sur en unos 2° de latitud hacia el sur y una creciente predominancia de la circulación de verano sobre la de invierno, sobre todo en otoño y primavera. De acuerdo con ello, se debe esperar una tendencia a condiciones estivales más prolongadas e invernales más cortas. Respecto de la precipitación, de acuerdo con estas tendencias de los campos de presión, por lo menos, no se debe esperar una vuelta a las condiciones anteriores al cambio observado en las últimas cuatro décadas al sur del paralelo 30° S. Al norte de esa latitud las condiciones son más inciertas.

Estos cambios han puesto en crisis mucha de la infraestructura hídrica y vial que fuera dimensionada para un clima que ya no existe. Ante esta circunstancia, es necesario modificar las técnicas de diseño y planificación que se basaban en la hipótesis de clima estacionario. Como el diseño y la planificación son obviamente para el futuro, se requiere de métodos que permitan manejar la incertidumbre sobre el clima futuro. Como estos métodos están apenas en incipiente desarrollo, la adopción de criterios aproximados que manejen hipótesis de clima futuro es siempre mejor que persistir en las técnicas inadecuadas que asumen la constancia del Clima.

### **La inundación debida al río Salado en Santa Fe en abril de 2003**

Si bien no existe un límite definido, convencionalmente se considera como cuenca inferior del Río Salado al área que se desarrolla en territorio santafesino, con una superficie de 30.000 km<sup>2</sup>, cuando el río ingresa a la provincia de Santa Fe a la altura de la ciudad de Tostado.

El escurrimiento en la cuenca inferior se compone de los aportes provenientes de la cuenca media que son de baja significación, de los aportes del río Calchaquí y de los excesos de lluvia en las subcuencas de margen derecha. De los principales afluentes laterales si bien no son tan significativos en términos relativos a los aportados por el Calchaquí se caracterizan por ser muy discontinuos e irregulares, concentrando en breves periodos de tiempo picos de crecida de variada



El caudal medio anual del río Salado en la Ruta Prov. N° 70 es de 133,7 m<sup>3</sup>/s para toda la serie disponible (1954-2002), pero aumenta a 176,4 m<sup>3</sup>/s si se adopta la serie 1971-2002. La distribución de los caudales mensuales muestra que los máximos pueden ser entre seis a diez veces mayores que los promedios.

Desde el punto de vista de las crecidas, la situación más desfavorable se produce ante la superposición de ambos efectos, es decir que ante el paso de una onda de crecida aportada por el Calchaquí se produzcan lluvias intensas en la zona de aportes próxima a desembocadura generando bruscos empuntamientos. Los caudales máximos anuales registrados a partir de 1954, muestran a partir de la década del 70 la aparición de picos muy importantes

La crecida de abril del 2003 se originó por la ocurrencia de lluvias elevadas sobre su cuenca baja, ocurridas principalmente entre los días 22 y 24 de abril del corriente año. Durante esos días, un sistema frontal caliente semiestacionario 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 lluvias de muy alta intensidad. Estas lluvias se produjeron sobre una cuenca baja del río Salado saturada, producto de precipitaciones ocurridas en los meses previos. Este estado de saturación antecedente originó que un importante porcentaje del agua precipitada se convierta en escurrimiento. El caudal máximo se presentó un fuerte empuntamiento, pasando de 700 m<sup>3</sup>/s a 4000 m<sup>3</sup>/s en solo siete días.

Afortunadamente, la crecida extraordinaria del río Salado no se superpuso con una crecida del río Paraná, río en el cual desagua, pues ello hubiera agravado aún más la situación.

En conclusión, se puede decir que la vulnerabilidad (desde el punto de vista físico) de la ciudad de Santa Fe está dada por los siguientes factores principales

- Su ubicación geográfica entre dos grandes ríos no regulados, con amplios valles de inundación que han sido ocupados por la expansión urbana.
- Su topografía local plana con deficiencias para el escurrimiento de los excesos pluviales y con zonas bajas cercanas a los ríos con niveles freáticos cercanos a la superficie del terreno.
- La falta de un Plan Urbano y de ordenamiento territorial que tenga en cuenta los factores anteriores.
- El desarrollo de obras de infraestructuras viales y de defensas no totalmente compatibilizados y no acordes a los escenarios hídricos cada vez mas extremos que se presentan y la falta de un adecuado plan de operación y mantenimiento de las mismas.
- La falta de conciencia de que una zona protegida sigue siendo una zona de riesgo y como consecuencia la falta de medidas no estructurales que complementen a las obras, como la carencia de un sistema de alerta de crecidas del río Salado y consecuentemente la ausencia de un Plan de Contingencias explícito.

Los daños que se producen ante una situación de crecida extraordinaria del Río Salado como la que se produjo, son consecuencia de esta vulnerabilidad natural y antrópica.

## **Algunas investigaciones prioritarias sobre el tema**

Es importante destacar que el estudio de riesgos de inundación y la elaboración de planes para enfrentar la emergencia es una tarea que involucra varias disciplinas, en la que los profesionales de las ciencias del agua deben participar en sus distintos campos de especialidad, pero manteniendo una visión holística del problema.

Debe tenerse en consideración que la gestión integral de los recursos hídricos en relación con las inundaciones y crecidas implica también la necesidad de investigar los medios de mejorar la gestión administrativa y económica inexorablemente vinculados con el tema. Algunas líneas de investigación y desarrollo que deberían considerarse para un futuro cercano, siempre con el objetivo de disminuir riesgos y pérdidas económicas ante eventos críticos hídricos de particular envergadura son:

- las investigaciones tendientes a mejorar la modelación hidrológica, en especial aquellas destinadas a lograr un mejor conocimiento de los criterios de selección y estimación de parámetros de las funciones estadísticas necesarias para definir la relación caudal-período de retorno. El avance en esta línea también se debe completar con un incremento en el conocimiento en la modelación matemática de los procesos de la transformación lluvia-caudal, a efectos de predecir con menor riesgo los posibles caudales de diseño de obras de protección.
- las investigaciones destinadas a mejorar la modelación hidrodinámica de los fenómenos de generación y traslación de crecidas en los cursos de agua. En particular, debe profundizarse el conocimiento preciso de datos básicos tales como la topografía de los valle de inundación en zonas de baja pendiente, batimetrías, aforos y monitoreo de calidad de agua.
- las investigaciones tendientes a lograr la transferencia a escala local y de detalle del uso de los resultados de los modelos de predicción climática (del tipo de los utilizados para el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, por ejemplo).
- los estudios de gestión integral de recursos hídricos ligados a las crecidas y los problemas de jurisdicción, economía y legislación asociados a medidas estructurales y no estructurales para lucha contra inundaciones.
- las investigaciones de optimización de diseño hidráulico de obras de infraestructura hídrica vinculadas con los efectos de crecidas, inundaciones y aluviones.
- Las investigaciones específicas destinadas a resolver problemas hídricos en áreas urbanas, en especial inundaciones, anegamiento por ascenso de napas y contaminación.
- Investigaciones sobre el uso sustentable de los recursos hídricos, que tienen incidencia en la prevención de eventuales futuros desastres de origen hídrico.
- El desarrollo de técnicas que vinculen la información satelital a las actividades de pronóstico y monitoreo de desastres de origen hídrico.

La colaboración que puede brindar el sector académico en la mitigación de desastres depende no sólo de la productividad de dicho campo en los temas relevantes, sino del entramado o contexto que exista entre las instituciones y demás actores sociales implicados.

La problemática que plantea la Ciencia y Técnica “útil a la sociedad” es cómo generar esa interacción entre la elaboración de conocimientos y la sociedad que se supone los necesita. Ello implica pensar en las condiciones “de contorno” necesarias para que la mayor parte de los productos científicos sean realidades útiles a los objetivos de la sociedad. El servicio que brinda un sistema de alerta es sólo una parte dentro de un proceso, que debe funcionar en su integralidad para que el mismo tenga sentido.

## **Conclusiones**

El sector académico, las agencias especializadas y los tomadores de decisión deben interactuar dentro de sus ámbitos específicos, sin competencia ni omisiones, para optimizar recursos humanos y materiales y maximizar el beneficio para la sociedad.

Se requiere el mantenimiento, el crecimiento y la adaptación a las tecnologías modernas de las redes de medición hidrometeorológica a través de la acción integrada de agencias especializadas del Estado que han demostrado la vocación de trabajo conjunto.

Es fundamental reforzar la conexión transversal, en un contexto formal e informal, de cooperación entre los organismos involucrados en la mitigación y respuesta frente a la emergencia. Éste es el único camino para generar acciones en tiempo y forma para afrontar la adversidad.

Uno de los problemas que enfrentan hoy los especialistas en el tema, y no es en modo alguno de menor relevancia, es el que corresponde a la adecuada difusión de sus logros en relación con los requerimientos de la sociedad. En particular, el Ingeniero ha sido y es sistemáticamente observado con precaución por parte de los medios masivos de información, que lo consideran como una suerte de mercenario dependiente de un cliente todopoderoso que atenta contra el resto de la población. Su voz y su opinión son permanentemente puestas en tela de juicio por profesionales de otras disciplinas, los propios periodistas y personas sin conocimiento específico. Debe comprometerse el mayor de los para abrir los caminos de los futuros profesionales especialistas en las ciencias del agua y revertir esta debilitada imagen.

Por otra parte, los tomadores de decisión reciben a menudo mensajes opuestos acerca de los beneficios de tales medidas o proyectos por parte de diversos actores que, sin la adecuada formación científica, hacen pesar su influencia, provocando confusión en cuanto a las prioridades y las actividades críticas de una gestión ordenada de los recursos hídricos.

Por ello, los eventuales éxitos del sector científico y tecnológico no podrán ser incorporados al desarrollo social sino a través de un cambio muy importante en los aspectos de gestión, para lo que sería muy apropiado que los especialistas y profesionales capacitados con niveles superiores de estudio tengan una participación activa en la toma de decisiones fundamentales. Ello sólo será posible si algunos científicos no se involucran en los estamentos políticos en los que se definen los procesos.

## Reconocimiento

El presente trabajo ha sido redactado sobre la base de los resúmenes presentados por los expositores en el Taller Sobre el Agua: *Una visión científico tecnológica de los desastres por excesos hídricos* desarrollado en la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales el 29 de septiembre de 2003:

- Ferrari Bono, Bruno V.: "Enfoque general sobre el tema del agua, la política hídrica y las inundaciones"
- Lopardo, Raúl A.: "Medidas estructurales y no estructurales para la mitigación y control de crecidas"
- Paoli, Carlos U.: "Inundaciones en grandes áreas de llanura con creciente ocupación (el río Salado en Santa Fe)"
- Goniadzki, Dora: "El sistema de Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata"
- Barros, V.: "Influencia del cambio climático en los futuros escenarios de la región"
- López, F.: La formación científica y la gestión efectiva de los recursos hídricos