

## **Tratamiento Numérico y Experimental de Inundaciones en Ríos y Canales Abiertos**

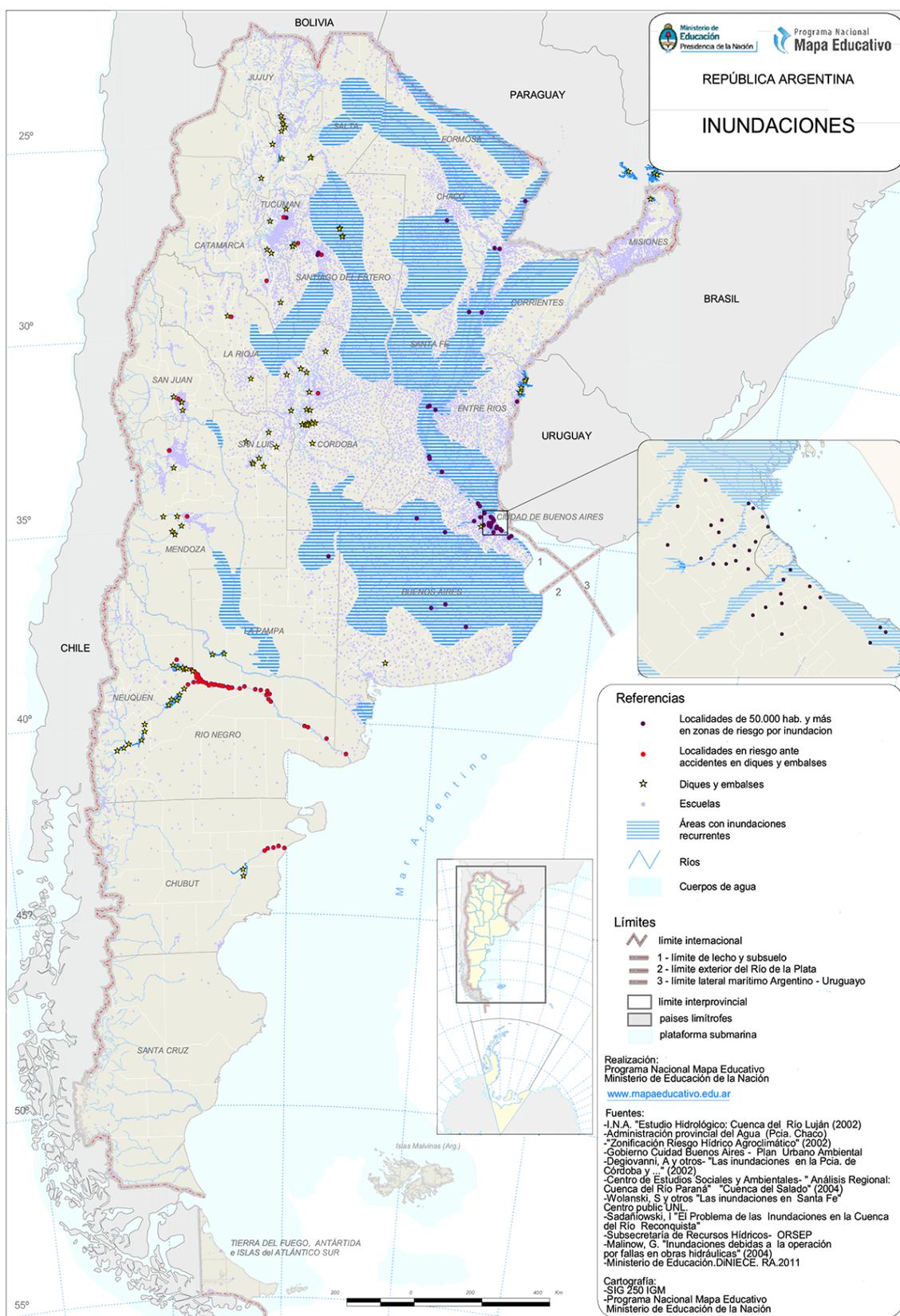
**Fraidenraich, A. Altenberg, A. E. Pérez, M. J.**

### **El problema de las inundaciones**

Hay diversos tipos de inundaciones, por ejemplo, superficiales, ribereñas, costeras, urbanas y catastróficas. Las superficiales ocurren en planicies de baja cota que tienen dificultades en evacuar el agua acumulada por las lluvias típicamente se producen en Argentina en las llanuras centrales de la provincia de Buenos Aires, Santa Fe y eventualmente en Córdoba. Las ribereñas se producen por el crecimiento de la cota de los ríos debido a las excesivas lluvias localizadas en la cuenca. Las urbanas se producen en períodos de lluvias muy intensas debido a que la capacidad de drenaje es superada. De acuerdo a los especialistas de saneamiento del Banco Mundial las inundaciones son el mayor desastre natural que amenaza al país representa el 95 % de los daños económicos (49 % debida a las inundaciones ribereñas y el restante 46% debido a las inundaciones urbanas) y 60% de los desastres naturales en la Argentina según Catalina Ramírez, especialista en Agua y Saneamiento del Banco Mundial. De acuerdo a las mismas fuentes, en el año 2015 y sólo en la provincia de Buenos Aires se afectaron 800000 hectáreas y se perdieron 6000 cabezas de ganado lo que provocó un daño equivalente a 650 millones de dólares. En la Argentina el 80 % de la población vive en zonas inundables (ver mapa del Ministerio de Educación). En total se calcula que los daños económicos causadas por las inundaciones totalizan un 0.7% del PBI (producto bruto interno). En cuanto a sus consecuencias sociales, de acuerdo al Ministerio de Salud y Desarrollo social, las inundaciones provocan un número imprevisible de muertes, lesiones y enfermedades las que suelen sobrepasar la capacidad instalada de los servicios de salud, los cuales suelen ser afectados por el mismo fenómeno. Asimismo, pueden tener efectos adversos sobre el ambiente y la población, aumentando el riesgo de enfermedades transmisibles, lesiones y peligros ambientales que incrementan la posibilidad de muertes adicionales. A su vez, posteriormente a las inundaciones se genera las condiciones propicias para epidemias vinculados al consumo de agua contaminada y a la propagación causada por diversos vectores animales. Se afecta también, tanto durante como después la catástrofe, la salud mental de la población debido a causas como, migración forzada, pérdidas de bienes personales, lesión, enfermedad o pérdida de un ser querido, lo cual se puede manifestar a través de un cuadro de estrés postraumático u otros cuadros psicológicos.

## Como enfrentar a las inundaciones

Ante estas circunstancias se puede responder por medio de perspectivas diferentes, como planeamiento preventivo de los riesgos o control de crecidas. Planeamiento preventivo involucra la toma de medidas frente al hecho consumado de una inundación. En la medida de lo posible y previsible lo ideal es no ocupar zonas inundables, sin embargo, hay diversas acciones que debieran ser tomadas. La infraestructura crítica de seguridad y salud, (hospitales, policía, bomberos, municipalidad) deberá ser ubicada o construida para resistir el efecto de las inundaciones. Otra infraestructura estratégica como algunas rutas de acceso, represas y otras construcciones para la generación de energía deberán ser planeadas para soportar las crecidas y de ser factible continuar su funcionamiento durante estos eventos. Además, se debe implementar un sistema de alerta de inundaciones. Esto implica un seguimiento climático y de la actividad hidro-meteorológica de las cuencas. Las medidas de control implican la construcción de defensas tales como reservorios, dique de contención, dique derivador entre otras. De acuerdo con los expertos en Ingeniería ambiental Brett Sanders y Nikolaos Katapodes miembros del ASCE (American Society of Civil Engineers), posibles mecanismos de control pueden ser, modificación de la tasa de evacuación del volumen de agua del reservorio, la operación de estructuras de control como compuertas, diques de control, diques desviadores y la derivación del agua a través de canales en acumulación de aguas en lugares bajos previamente designados. Todas estas medidas de no estar bien coordinadas y diseñadas para actuar globalmente pueden provocar perjuicios mayores a los beneficios perseguidos. Según el artículo "Climatic control of Mississippi River floodhazard damplified by river engineering" publicado en abril de este año en la revista Nature, la interacción de las obras de control realizadas en la cuenca del río Mississippi con los modos dinámicos de la variabilidad climática han elevado el daño actual de las inundaciones a niveles sin precedentes en los pasados cinco siglos.



## Nuestra propuesta

Proponemos un modelo de control que limite la altura de la crecida por medio de la incorporación de una estructura lateral de regulación de la altura del agua que evacúa el excedente a una zona baja (laguna superficial) teniendo en cuenta el comportamiento global de la cuenca de esta manera se trata de minimizar los daños por la ejecución de obras no coordinadas

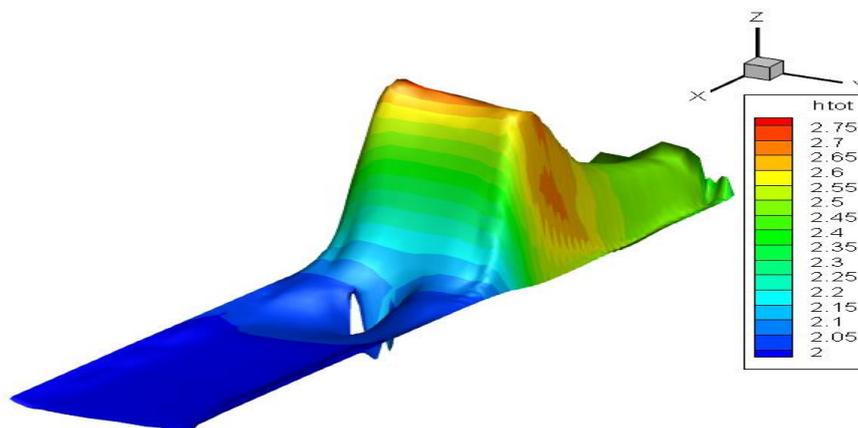
La metodología utilizada se basa en el cálculo numérico, por medio de computadores digitales, de los valores de las alturas y velocidades en toda la extensión de la cuenca que comprende los ríos y canales situados en la región geográfica estudiada. Este modelo numérico incluye la representación de las variaciones dinámicas que se producen en las regiones litorales con los distintos niveles de las corrientes de agua. En esta primera etapa se ha realizado lo que en la terminología técnica se llama solución directa. A continuación, a partir de los resultados del modelo directo se plantea una estrategia de control basada en la optimización de los parámetros espaciales, temporales, del caudal de manera tal de evitar los daños que se producen por su descontrol. Esta es la etapa que se denomina técnicamente como adjunta. A partir de esta última etapa se encuentran coeficientes que representan las variaciones de los parámetros de control utilizados en el modelo de donde se puede establecer la política de regulación de manera que esté adaptada a las condiciones locales. Además, para hacer posible la aplicación práctica de este modelo se implementará utilizando técnicas de computación de alto rendimiento (HPC “High Performance Computing”)



Las inundaciones han afectado campos, ciudades y carreteras del centro de Argentina. Observar que la vía de acceso continúa en funcionamiento pese a la inundación. Télam

## Que hemos hecho

Hasta el momento se ha avanzado en la generación del modelo llamado directo que permite calcular las evoluciones de alturas y velocidades del curso de agua dadas las condiciones de entrada de la crecida y de impermeabilidad de los laterales.



Evolución de la crecida en una canal rectangular medida en  $t = 400\text{seg}$  de acuerdo al modelo desarrollado. Solución directa

Para verificar su funcionamiento, se compararon exitosamente los resultados con los de otros de investigadores prominentes de la literatura existente desde 1980. El modelo incluye la posibilidad de interponer islas en la corriente de agua y ya ha sido aplicado a corrientes de agua con una isla simétricamente ubicada.

Todo modelo numérico necesita de una validación experimental para asegurar que su funcionamiento representa el comportamiento real de la evolución del proceso en estudio. Se han iniciado trabajos para ser posible que esta validación sea realizada en los laboratorios de la UB. Este trabajo se está realizando con la participación de alumnos y docentes de la UB.

El modelo aún no ha sido concluido en todos sus detalles. En la actualidad se está trabajando en los detalles de la implementación del problema de control, agregar la posibilidad de aplicación del modelo a problemas prácticos lo cual incluye la apertura de un número de líneas de trabajo. Entre estas se puede mencionar geometría computacional (borde móvil, cauce móvil, geometrías genéricas) y problemas inversos de control para determinar parámetros físicos y geométricos en el sentido de captar las variaciones debidas a causas climatológicas de la cuenca.