

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DEL Sr. JUEZ

INDICE GENERAL

PREGUNTA N°1:.....	3
PREGUNTA N°2:.....	7
PREGUNTA N°3:.....	11
PREGUNTA N°4:.....	15
PREGUNTA N°5:.....	18
PREGUNTA N°6:.....	20
PREGUNTA N°7:.....	21
PREGUNTA N°8:.....	24
PREGUNTA N°9.....	26
PREGUNTA N°10.....	28
PREGUNTA N°11.....	30
PREGUNTA N°12.....	33
PREGUNTA N°13.....	35
PREGUNTA N°14.....	37
PREGUNTA N°15.....	38
PREGUNTA N°16.....	40
PREGUNTA N°17.....	59

PREGUNTA N°1:

Si puede determinarse técnicamente los factores y/o causas por las cuales se produjo el comportamiento observado por el Río Salado, y en su caso explicitando los motivos.

Antes de efectuar el desarrollo de la respuesta al presente requerimiento, conviene puntualizar la diferencia entre dos conceptos próximos, pero diferentes: *crecida* e *inundación*.

Se entiende que la crecida de un río es la respuesta de una cuenca hidrográfica ante la ocurrencia de una precipitación que abarcó total o parcialmente a su área de aporte. Implica la variación de los caudales y niveles en el tiempo. Tanto las características de la cuenca como de la precipitación definen la magnitud y severidad de la crecida.

Por su parte, la inundación es una condición temporaria de ocupación parcial o completa de tierras generalmente secas por parte del agua proveniente del desborde de un río o arroyo, y/o la acumulación inusual de agua desde cualquier fuente. Se desprende que no todas las crecidas (naturales o artificiales) provocan inundaciones. Por lo tanto, la inundación es un concepto de afectación del medio natural y construido producto de la ocupación o utilización del terreno.

A partir de estos dos conceptos, cabe señalar que el comportamiento observado de un río comprende tanto los procesos naturales que se relacionan con las propias crecidas como a las acciones antrópicas materializadas en el entorno del río y su cuenca.

En este contexto, se entiende que la pregunta hace referencia al comportamiento observado del río Salado y, por ende, a la forma en que se produjo la crecida de abril/mayo de 2003 y no a los procesos de inundación de la ciudad de la ciudad de Santa Fe.

En este marco el comportamiento observado por el río Salado se puede describir considerando las causas hidrológicas y antrópicas y sus consecuentes manifestaciones hidráulicas a lo largo de su curso.

El tratamiento completo de estos aspectos se presenta en los Anexos IV, V, VIII, X, XI y los apartados 2.1, 2.3, 4 y 6.1 del Resumen Ejecutivo del Informe Pericial. A continuación se presenta una síntesis de los elementos que conforman la respuesta a esta pregunta.

La cuenca del río Salado se extiende por las provincias de Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, Chaco y Santa Fe. Si bien no existe un límite definido, convencionalmente se considera como cuenca inferior del río Salado al área que se desarrolla en la provincia de Santa Fe a partir del punto en el cual el río ingresa a la misma, a la altura de la ciudad de Tostado.

Desde el ingreso al territorio santafesino el río escurre en dirección Noroeste - Sureste por un cauce con escasa capacidad de conducción hasta recibir los aportes del río Calchaquí, el cual drena las aguas provenientes de los Bajos Submeridionales.

A partir de este punto el cauce escurre en dirección Norte - Sur hasta su desembocadura en el sistema Paraná. En ese tramo el río Salado recibe los aportes de las subcuencas: Saladillo, Las Conchas, Palos Negros-La Cabral, San Antonio, Cululú, Vizcacheras, Pantanoso, Arizmendi y áreas de aportes directas al propio curso.

En la región de los Bajos Submeridionales los aportes son muy lentos y se generan a partir de cierto umbral de acumulación. Este subsistema almacena importantes volúmenes. Cuando su capacidad máxima se satisface, se producen escurrimientos laminares o relativamente encauzados, aportando volúmenes muy importantes al punto de convergencia (caracterizados por una distribución amortiguada de caudales en el tiempo y de gran permanencia). Este hecho es muy importante a tener en cuenta, ya que dicha área constituye la de mayor aporte al río Salado en territorio santafesino. De acuerdo a sus condiciones de humedad antecedente y a la magnitud de las lluvias, la misma puede ser la responsable de la generación de importantes volúmenes de escurrimiento que aportan a la región de su desembocadura en el sistema Paraná.

El tramo del río Salado que se desarrolla a partir del ingreso del A° Las Conchas presenta un cauce y su respectivo valle con contornos bien definidos. Este último, al estar condicionado tectónicamente, es bastante encajonado. Se observa un importante gradiente topográfico hacia la planicie o valle de inundación, hecho que implica una sustancial capacidad de evacuación y una muy baja probabilidad de desborde a partir de esta última.

El tramo inferior del río Salado se desarrolla a partir de las proximidades de la Ruta Provincial 70 (RP70). Desde el punto de vista hidráulico, excluyendo los efectos de inducción de terraplenes, puentes, etc., es de destacar que los niveles alcanzados por el río dependen de la magnitud de la crecida del propio Salado y de las alturas del Paraná.

Cabe señalar que las consecuencias de una acción voluntaria o involuntaria por parte del hombre sobre el ciclo hidrológico de una cuenca hidrográfica pueden concernir tanto a los aspectos ligados a la cantidad como a la calidad del agua (o a ambos a la vez). En el marco de este peritaje son de mayor relevancia los aspectos ligados a la cantidad de agua. Ciertas actividades humanas intervienen directamente sobre los cursos de agua y/o sobre sus adyacencias y sus consecuencias suelen limitarse a ese mismo espacio. Otras, en cambio, afectan a regiones más amplias o distantes.

Las áreas de llanura se caracterizan por presentar en términos hidrológicos, entre otros aspectos, una menor capacidad para absorber los cambios producidos por el hombre. En efecto, el desarrollo de obras de infraestructura tales como redes viales, ferroviarias y de canales, por lo general afectan marcadamente al escurrimiento superficial, tanto aquel que se produce en forma distribuida (*mantiforme*, sobre el terreno) como concentrada (en cursos y canales artificiales). Estos efectos se traducen en retardos, desvíos y aceleraciones de los flujos del agua.

En áreas de llanura tales como las de la cuenca inferior del río Salado en territorio santafesino, los canales artificiales son empleados para drenar zonas relativamente bajas o

afectadas negativamente por el trazado de las redes de infraestructura vial y/o ferroviaria. Por sus características, se destacan las influencias de la red vial sobre el escurrimiento.

En el presente peritaje se analizaron, desde un punto de vista cuantitativo, los impactos hidrológicos de diversas acciones antrópicas sobre la subcuenca del A° Cululú. Dentro de la cuenca inferior del río Salado la importancia de esta subcuenca está dada por el hecho de ser una de las que posee mayor capacidad de producir picos de crecidas de gran magnitud y de rápida llegada a la zona de la ciudad de Santa Fe. Dentro de este contexto se analizaron los efectos del aumento progresivo y sistemático de la red de drenaje del A° Cululú. Esta última está constituida por cursos naturales y canales artificiales de distintas magnitudes.

Para la subcuenca del A° Cululú se observaron aumentos de la magnitud de los caudales del orden del 30 % y reducciones del orden de 12 h en el tiempo de llegada. La importancia de este último aspecto radica en la disminución del lapso disponible para la adopción de medidas emergenciales. En síntesis, se verificó que las acciones antrópicas pueden provocar impactos relevantes sobre el ciclo del agua en la subcuenca del A° Cululú. Siendo lógico suponer que impactos equivalentes se podrían manifestar en las restantes subcuencas del río Salado ante la materialización de medidas semejantes, se deduce que las acciones antrópicas pueden provocar cambios sustanciales tanto en la magnitud de los caudales máximos como en el tiempo de llegada de las ondas de crecida del río Salado.

Otro aspecto considerado en relación a las consecuencias de las acciones antrópicas se refirió a las modificaciones de la pendiente de fondo observadas en el tramo inferior del río Salado entre los años 1928 y 2003. Del análisis de las informaciones de campo disponibles se desprende la existencia de una tendencia del orden del 10% a la reducción de la pendiente de fondo, con la consecuente disminución de la velocidad y de la capacidad de conducción del río. Se estima que ello podría derivar de una mayor cantidad de material sólido en suspensión causado por las acciones antrópicas en la cuenca (desmonte, intensificación de la agricultura, etc.) los cuales dan origen al proceso de depósito de estos sedimentos en el tramo próximo a su desembocadura.

En lo que respecta a las precipitaciones, cabe señalar que durante los meses de octubre de 2002 a marzo de 2003 se produjeron importantes precipitaciones en la cuenca del Salado santafesino. Estas precipitaciones, ampliamente documentadas en varias publicaciones, fueron muy superiores a la media de los registros y produjeron un aumento significativo del contenido de humedad en el suelo.

En los tres primeros meses del 2003 se registraron crecidas cuyos picos superaron los 1000 m³/s (16/01/03, 1150 m³/s; 10/02/03, 1073 m³/s; 11/03/03, 1378 m³/s) ocasionadas por precipitaciones ocurridas en distintos sectores de la cuenca.

Durante el mes de abril de 2003 continuó precipitando con regular intensidad, en especial los días 2, 3 y 4 y posteriormente el día 20. Luego, los días 23 a 25, y 28 y 29 de abril, se produjeron las tormentas que dieron origen a la crecida, cuyo máximo de 3.954 m³/s se registró el 30/04/03 en la RP70.

Estas precipitaciones se distribuyeron espacialmente en forma de dos núcleos concentrados principalmente en las localidades de La Penca (388 mm) y Colonia Bossi (260 mm) en los días 23, 24 y 25 de abril, y en la localidad de Candiotti (205 mm) (cerca de la ciudad de Santa Fe) en los días 28 y 29 de abril, generando así precipitaciones medias areales sobre la cuenca con un máximo de 60 mm, el día 24/04/03.

Para producir el pico de 3.954 m³/s no solamente contribuyeron las mencionadas precipitaciones sino que también influyeron:

- el elevado contenido de humedad en el suelo;
- la baja evapotranspiración que habitualmente se produce en el mes de abril en la cuenca (100 mm de promedio en Ceres para el período 1956-1980);
- la rama descendente de la crecida de marzo, ya que en el momento de comenzar la crecida de abril el caudal base en el Río Salado se encontraba en valores superiores a los 500 m³/s.

Es de aclarar que dado que la distribución espacial de las tormentas afectó totalmente la subcuenca del A° Calchaquí, este aportó en gran medida a la conformación de la crecida con caudales que, según la modelación hidrológica realizada por esta pericia, fueron del orden de 1000 m³/s.

Esta pericia ha podido determinar que la previsibilidad estadística del pico de la crecida de abril/mayo de 2003, contemplando la información disponible hasta el año 2002, correspondió a un *tiempo de recurrencia* asociado del orden de 810 años (período asociado a la probabilidad de ocurrencia de un caudal igual o superior al mismo).

Con relación al comportamiento hidráulico del río Salado, cabe señalar que su tramo inferior se encuentra fuertemente influenciado por la presencia de las obras de arte existentes en el mismo y por el nivel del río Paraná. En este caso particular, es importante destacar que durante la ocurrencia de la crecida de abril/mayo de 2003 los niveles registrados en el río Salado no estuvieron fuertemente influenciados por los niveles de aquel. No ocurrió lo mismo con el caso de los puentes, en particular, con el de la autopista Rosario-Santa Fe, la obra de mayor incidencia ya que su luz libre era de solo 155 m, en un ancho del valle de inundación superior a 1.000 m. La presencia de su terraplén produjo sobreellevaciones en el nivel aguas arriba del orden de 0,70 a 0,80 m.

Como consecuencia de todo lo expuesto y explicitado tanto en la presente respuesta como en la documentación técnica que acompaña a estas preguntas, se puede concluir que la crecida del río Salado en abril/mayo de 2003 fue un evento preponderantemente natural, pero que tuvo componentes antrópicos asociados que pudieron condicionar tanto la forma como la magnitud en que evolucionó la misma. Esos mismos componentes también incidieron en los niveles máximos registrados en el tramo inferior del río.

PREGUNTA N°2:

Si conforme los antecedentes existentes, la magnitud de la crecida del río Salado, puede ser considerada dentro de las previsibles, y en particular, en cuanto a probables alturas a alcanzar las aguas en la zona de la ciudad de Santa Fe.

La ciudad de Santa Fe ha sufrido, en el transcurso del tiempo, diversos procesos de anegamiento que se han ido acentuando a partir de la progresiva ocupación del valle de inundación del río. Aún cuando éste no presentaba el nivel de ocupación urbana actual (ver Anexo I), se tiene conocimiento de crecidas de relativa importancia que pueden ser comparables a las registradas en las últimas décadas.

En efecto, si bien la toma sistemática de datos de caudal en la sección de la ruta provincial 70 se inició en el año 1954, existen otras mediciones de mayor antigüedad. Entre ellas, cabe señalar a los registros de alturas hidrométricas en la sección Empalme San Carlos obtenidos por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables para el período 1928 – 1993.

Más aún, existen diversas informaciones correspondientes a crecidas históricas que se produjeron con anterioridad a estas acciones de monitoreo sistemático (Anexo IX). En particular los antecedentes históricos dan cuenta de crecientes importantes ocurridas hacia fines del siglo XIX e inicios del siglo XX.

Si bien el análisis de todas estas informaciones da cuenta de la existencia de crecidas de importante magnitud hace más de cien años atrás, la definición de su nivel de previsibilidad exige la recopilación cuidadosa de todas estas informaciones y su tratamiento estadístico. Este tipo de análisis permite estimar en la actualidad, con base en toda esa información recopilada y analizada, la probabilidad de ocurrencia de una crecida tal como la que ocurrió en el 2003.

Antes de analizar los resultados del análisis mencionado, resulta importante establecer qué se entiende por previsibilidad de eventos hidrológicos e hidráulicos.

La previsión hidrológica de crecidas en una determinada sección de un río puede ser efectuada a *corto plazo* o a *largo plazo*.

- La *previsión de corto plazo* se denomina *pronóstico hidrológico en tiempo real* y consiste en indicar tanto el momento en el que la misma ocurrirá como su magnitud más probable.
- La *previsión de largo plazo* consiste en indicar la probabilidad de que ocurra una determinada crecida (o una superior a ella), sin precisar el tiempo exacto en el cual la misma se producirá. En otras palabras, la previsión de largo plazo es de tipo estadística y consiste en estimar la probabilidad de que una determinada crecida se presente en un año cualquiera. La previsión de largo plazo se asocia, por tanto, al *grado de previsibilidad (estadística) de la crecida*.

Para este estudio se realizaron diversos análisis de frecuencia basados en diferentes series de registros con el fin de definir la previsibilidad estadística de la crecida del río Salado de abril/mayo de 2003, es decir el *tiempo de recurrencia o tiempo de retorno* del caudal máximo de la crecida.

Todos los análisis y resultados referidos a este tema se encuentran desarrollados en forma completa en los Anexos IX, X y en el apartado 6.1 del Resumen Ejecutivo del Informe Pericial. A partir de los mismos, se sintetizará a continuación los principales resultados del estudio realizado.

El análisis de la serie de registros correspondiente al período 1875-2002 combinó las marcas hidrológicas de crecidas históricas que superaron un umbral (o nivel) de percepción (1886: 1.750 m³/s; 1914: 2.750 m³/s) y series sistemáticas de observaciones.

Los estudios realizados permiten afirmar que la crecida del año 2003 (3.954 m³/s) fue la mayor dentro del período 1875-2005. Aún así, pudo establecerse que existían elementos que permitían considerar a la misma como estadísticamente previsible.

Si se consideran todas las informaciones disponibles con anterioridad a la crecida máxima del año 2003 podría haber conducido a estimar que 3.954 m³/s correspondía al valor más probable del caudal cuyo tiempo de retorno o recurrencia asociado era del orden de 810 años. Ello implica que el mismo poseía una probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera del 0,12 %;

Si a la serie de registros anteriores, se incorporan los registros existentes del período 2003-2005, el mismo análisis realizado anteriormente conduce a estimar que ese caudal máximo corresponde al valor más probable para la pico de la crecida que posee un tiempo de retorno o recurrencia del orden de 430 años. Ello implica que el mismo posee una probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera del 0,23 %.

En síntesis, se concluye que en virtud de todos los antecedentes disponibles la crecida de abril/mayo de 2003 correspondió a un evento extremo, estadísticamente esperable, y de características excepcionales.

El análisis anterior permitió establecer la previsibilidad de la crecida desde el punto de vista estadístico. Más allá de ello, es importante establecer otros aspectos que hacen a la previsibilidad de un evento hidrológico como el analizado. En efecto, se debe puntualizar si eran previsible los alcances que tendrá un determinado evento de crecida como así también si es previsible el momento de ocurrencia de la misma.

A fin de clarificar estos conceptos, pueden señalarse otras definiciones de previsibilidad que pueden ser aplicadas al evento bajo análisis. En tal sentido, Ayala-Carcedo (2002) menciona que: *prever es conocer con anticipación o conjeturar lo que ha de suceder*. En esa misma publicación se indica que en la disciplina hidrológica *existe conocimiento actualmente para*

“conocer con anticipación o conjeturar” que en una zona determinada puede haber una inundación en lo relativo a los aspectos siguientes:

Dónde: Todas las inundaciones tienen lugar de forma recurrente y con magnitudes diversas en las mismas zonas, que son las zonas inundables. A consecuencia de esta repetición, estas zonas se caracterizan por presentar una morfología fácilmente identificable, generalmente la llamada llanura de inundación...

Cómo: Las inundaciones pueden caracterizarse a priori según las características de la cuenca vertiente y por estudio de los sedimentos y formas. Así, las inundaciones en cuencas pequeñas tienen tiempos de presentación cortos

Cuándo: Como se ha dicho, la determinación del tiempo de presentación de la **riada** es plenamente previsible conocida la morfología de la cuenca... No obstante, la determinación del momento en que vaya a producirse la lluvia ... que genere la crecida, solo es previsible con una aproximación suficiente para generar medidas preventivas eficaces en cuencas mayores..., no en las pequeñas o torrenciales. Debe tenerse presente al respecto que el tiempo de evacuación de un núcleo habitado es tanto mayor cuanto mayor sea la población, y que se mide en horas.

Y posteriormente, el mismo autor establece que: ...las inundaciones son plenamente previsibles en cuanto al dónde y al cómo, y parcial, pero suficientemente, previsibles en cuanto al cuándo. Tienen previsibilidad espacial y tipológica y parcialmente temporal.

Estos conceptos resultan plenamente aplicables al caso de la crecida del río Salado de abril/mayo de 2003, si se considera que la previsibilidad es espacial y tipológica y parcialmente temporal.

Para el caso del río Salado puede considerarse que existía previsibilidad espacial ya que las zonas inundadas eran precisamente terrenos inundables ya que pertenecían a la planicie de inundación del río Salado, existiendo además estudios previos que delimitan las áreas de riesgo asociadas a distintos caudales (INCyTH-CRL, 1992);

Asimismo se considera que existía previsibilidad tipológica ya que la presente generación había experimentado crecientes similares (por ejemplo, 1973 y 1998) y, por ende, se sabía como se generan y desarrollan, siendo tal conocimiento expresado explícitamente en varios informes técnicos y científicos.

En cuanto a la previsibilidad temporal, se considera que la misma resultaba parcial y que sólo existían indicios tales como:

- se sabía que el suelo de la cuenca estaba saturado por eventos recientes;
- porque las precipitaciones que generaron la crecida se produjeron desde el 23/04/03 al 29/04/03;
- porque la rama ascendente del hidrograma tuvo una duración de 6 días (24 al 30/04/03);

- porque existe 1 (un) día de diferencia en la ocurrencia de los caudales máximos entre las secciones de la RP70 y la ciudad de Santa Fe

A pesar de lo expuesto, en el momento de la ocurrencia de la crecida de abril/mayo de 2003, no se contaba con ningún tipo de sistema (ni organizado ni precario), que permitiera establecer un pronóstico de la evolución en el tiempo, tanto de caudales como de niveles.

Teniendo en cuenta que el desarrollo de la crecida presenta un desfase de un día entre la sección de RP70 y la ciudad de Santa Fe, el pronóstico de la evolución mencionada se podría haber realizado con 24 h de anticipación.

PREGUNTA N°3:

Si con los registros existentes en poder de las autoridades de la Provincia de Santa Fe, resultaba probable establecer tanto la fecha, como la cantidad de agua, y velocidad de la misma (m^3 por segundo), que pasaría por la margen oeste de la ciudad de Santa Fe.

A los fines de responder adecuadamente este requerimiento, se revisan a continuación las informaciones existentes en poder de las autoridades de la provincia Santa Fe en los días previos y durante la crecida de abril/mayo de 2003. En tal sentido, las autoridades de la provincia de Santa Fe recibían de la Dirección Provincial de Comunicaciones los partes diarios (excepto Sábado, Domingo y feriados) de las estaciones pluviométricas que se detallan en la Tabla 1.

Además eran públicas también las siguientes informaciones:

- Información de caudales y niveles de agua en puente de Ruta Provincial N°70 sobre el Río Salado (operada por la Empresa EVARSA por encargo de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación);
- Información de niveles de agua sobre el Río Salado en la estación hidrométrica INALI (cerca del puente carretero RP N°11).

En el marco del conocimiento previo del comportamiento hidrológico del Río Salado se pueden enunciar los siguientes antecedentes:

- Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Salado. Vol I y II. INCyTH-CRL, 1986
- “Aplicación de Modelos de Regresión Múltiple para Previsión de Crecidas en la Cuenca Inferior del Río Salado”. INCyTH-CRL, 1988.
- Estudio de Delimitación de Áreas de riesgo hídrico en Santa Fe. INCyTH-CRL, 1992.
- Control sistemático de la erosión en el puente autopista sobre el río Salado. Convenio INA- AUFE SA. 1998
- Redimensionamiento hidráulico del puente sobre el río Salado en autopista Santa Fe – Rosario. Convenio INA- AUFE SA. 1998
- Estudios hidrológicos-hidráulicos para una nueva conexión Santa Fe-Santo Tomé. Convenio INA-FICH-Direcc. Pcial. de Vialidad, 1998

Sin embargo, debe destacarse que debido a que en el contexto existente de la crecida no existía en funcionamiento un sistema de alerta hidrológica ni personal responsabilizado de realizar tareas de pronóstico, no resultaba posible en la práctica efectuar una estimación adecuada de los caudales y niveles que escurrirían por el río en el tramo del mismo adyacente a la ciudad.

De todas maneras, si bien había existido gestiones con el objetivo de implementar un sistema de pronóstico relativamente completo de cierta complejidad (estaciones de toma de datos de

niveles del río y modelo matemático de origen holandés), tal tramitación no se había podido concretar a la fecha de la crecida de abril/mayo de 2003.

Es importante desatacar, también, que la conformación de un sistema de pronóstico no requiere, necesariamente, de la implementación de sofisticados componentes (instrumental de medición, modelos de simulación, sistemas de transmisión, etc.). Existen sistemas simples que cumplen funciones suficientemente aproximadas como para establecer en el tiempo la evolución de los procesos de crecidas. La implementación de estas herramientas hidrológicas rudimentarias podría constituir una etapa transitoria previa con vistas a un desarrollo complejo.

A modo ejemplo, en el marco de esta pericia se ha podido establecer que existían herramientas técnicas disponibles como para haber implementado un sistema de preaviso suficientemente adecuado.

Esta pericia, como se detalla en el Anexo VIII, ha planteado la hipótesis de que, si después de la crecida de febrero de 1998 se hubiera realizado la calibración del modelo matemático de simulación hidrológica HEC-HMS (HU Clark) (Anexo VI) (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/) 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 consustanciado con *el estado del arte* (en abril de 2003) ante similares circunstancias:

- a) A comienzos del 2003 se tiene información de que ha llovido y sigue lloviendo bastante en la cuenca del Río Salado, en consecuencia los parámetros que tienen en cuenta la humedad del suelo se fijan en valores iguales que en 1998 ya que en ese evento también hubo una importante precipitación antecedente.
- b) 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 (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.

- c) 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 ciudad de Santa Fe;
- d) En base a los perfiles transversales del Río Salado extraídos de los estudios realizados en 1998, con el modelo matemático de simulación hidráulica 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 pasar por la sección del Hipódromo.

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.

También en el Anexo VIII se demuestra que se puede realizar una simulación de pronóstico similar a la anterior 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.

Así se puede expresar que:

1. 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).
2. 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.

En base a lo expuesto se puede afirmar que con los registros existentes en poder de las autoridades de la Provincia de Santa Fe y la utilización de modelos matemáticos de fácil y libre disponibilidad, era técnicamente factible establecer tanto la fecha, como la cantidad de agua (m³/s), y velocidad de la misma (m/s), que pasaría por la margen oeste de la ciudad de Santa Fe.

Tabla 1. Estaciones pluviométricas

Depto. 9 de Julio	Depto. Vera	Depto. San Cristóbal	Depto. San Justo	Depto. Castellanos	Depto. Las Colonias	Depto. La Capital
TOSTADO	VERA	S.CRISTÓBAL	SAN JUSTO	RAFAELA	ESPERANZA	STA.FÉ
ANT. PINI	CALCHAQUÍ	AG.GRANDE	CAYASTACITO	ANGÉLICA	CAVOUR	A.VERDE
CPO. GARAY	CDA.OMBÚ	AMBROSETTI	COL. DOLORES	ATALIVA	COL.S.JOSÉ	A AGUIAR
EL DESCANSO	COLMENA	ARRUFÓ	COL. LA BLANCA	AURELIA	CULULÚ	A.LEYES
EL NOCHERO	ESPÍN	CERES	COL. ESTHER	B°.PUZZI	ELISA	CABAL
EL TRIÁNGULO	F.CHILCAS	COL. ANA	COL.SILVA	BAUER Y SIGEL	EMP.S.CARLOS	C.ANDINO
E.RAMS	F.OLMOS	COL.BOSSI	CRESPO	B.ITALIA	FELICIA	CANDIOTTI
G.COLORADO	GARABATO	CONSTANZA	LA CAMILA	COL.ALDAO	FRANCK	EMILIA
INDEPENDENCIA	GOLONDRINA	CURUPAYTÍ	LA CRIOLLA	COL.BICHA	GRUTLY	LAGUARDIA
LOGROÑO	INTIYACO	HERSILIA	LA PENCA	COL.BIGAND	HIPATIA	L.PAIVA
MOGOTES	KM 12	HUANQ'ROS	LOS SALADILLOS	COL.CELLO	HUMBOLDT	LL. CAMPBELL
MONTEFIORE	KM 17	LA CABRAL	L.LEIVA	COL.ITURRASPE	ITUZAINGO	M.VERA
P.BORRADO	KM 29	LA CLARA	M.ESCALADA	COL.MARGARITA	J.L.ARAUZ	NELSON
SAN BERNARDO	KM 38	LA LUCILA	NARÉ	COL.RAQUEL	LA PELADA	RECREO
STA. MARGARITA	KM 101	LA RUBIA	P.G.CELLO	CNEL.FRAGA	LAS TUNAS	RINCÓN
TRES POZOS	LA CIGÜENA	LAS AVISPAS	RAMAYÓN	EGUSQUIZA	M. LUISA	S.TOMÉ
V.MINETTI	LA GALLARETA	LAS PALMERAS	SAN BERNARDO	ESMERALDA	MATILDE	S.VIEJO
	LAS GAMAS	M.EUGENIA	SAN MARTÍN N.	EST.CLUCELLAS	N.TORINO	
	LOS AMORES	M.VILLE	V.Y PINTADO	EUSEBIA	PILAR	
	LOS TABANOS	MONIGOTES	VIDELA	EUSTOLIA	PROGRESO	
	MARGARITA	M.OSCURIDAD		FIDELA	PROVIDENCIA	
	OGILVIE	NANDUCITA		FRONTERA	SAA PEREYRA	
	STA. FELICIA	PALACIOS		GALISTEO	S.AGUSTÍN	
	STA. LUCÍA	PORTUGALETE		GARIBALDI	S.CARLOS C.	
	TARTAGAL	S.GUILLERMO		HUGENTOBLE	S.C.ARLOS N.	
	TOBA	SANTURCE		HUMBERTO I°	S.CARLOS SUR	
		SOLEDAD		JOSEFINA	S. MARIANO	
		SUARDI		LEHMANN	S.JMO.DEL SAUCE	
		V.SARALEGUI		MAHUAD	S. JMO.NORTE	
		V.TRINIDAD		MAJUANA	S.C.B.VISTA	
		CAPIVARA		MARINI	STA.MARÍA N.	
		COL.ROSA		PZA. CLUCELLAS	STO.DOMINGO	
				PTE.ROCA	SARMIENTO	
				RAMONA	SOUTOMAYOR	
				SAGUIER		
				S.ANTONIO		
				S.VICENTE		
				STA.C.DE SAGUIER		
				SUNCHALES		
				SUSANA		
				TACURAL		
				TACURALES		
				VILA		
				V.SAN JOSÉ		
				VIRGINIA		
				Z.PEREYRA		

PREGUNTA N°4:

Para tomar previsiones en la materia, es necesario contar, además de altura del agua, la velocidad de la misma, y con que antelación al arribo de las aguas.

Se entiende que la pregunta hace referencia a las previsiones que podrían tomarse frente a la ocurrencia de la inundación, tanto en lo referente a medidas de mitigación de los efectos como de acciones tendientes a salvaguardar vidas y bienes.

Los aspectos técnicos considerados en el desarrollo de esta pericia y que se encuentran vinculados con la respuesta al presente requerimiento se encuentran contenidos en los Anexos III, VIII, XI y XII, así en el apartado 6.5 del Resumen Ejecutivo.

Estos aspectos se encuentran íntimamente relacionados con la planificación e implementación efectiva de sistemas de alerta y planes de contingencia.

Tal como se ha desarrollado en la documentación técnica que acompaña al presente cuestionario, ambos sistemas permiten, en conjunto, establecer pronósticos tempranos de la evolución de los caudales y niveles de un río, durante un evento de crecida, asociados a líneas de acción, tanto estructurales como no estructurales.

Ambos tipos de sistemas no se encontraban debidamente implementados, razón por la cual no se tenía una clara noción ni de la magnitud de los caudales que estaban arribando e ingresando a la ciudad, como así tampoco de las acciones más convenientes que debían tomarse para mitigar sus efectos,

Sin embargo, cuando se analiza la evolución de los hechos ocurridos, se puede observar que se efectivizaron distintas medidas que hubieran requerido distintos períodos de preaviso para ser tomadas en el momento más adecuado. En tal sentido, se ha destacado también, que gran parte de esas medidas podrían considerarse compatibles y conducentes con los hechos que se estaban registrando pero que fueron tomadas con cierto retraso respecto del momento óptimo que hubiera garantizado el éxito de las mismas.

Al respecto, conviene puntualizar cuáles acciones de previsión se efectivizaron durante el evento, en qué momento se ejecutaron y con que antelación debió tenerse conocimiento de la evolución del proceso de inundación para garantizar que las mismas fueran eficientes:

- 27 de abril: toma de conocimiento del ritmo de crecimiento de las aguas en el entorno de la ciudad y su posterior ingreso;
- 28 de abril: inicio de acciones de emergencia tendientes a cerrar la sección de ingreso;
- 28 al 30 de abril: inicio de ayuda a autoevacuados una vez que se producía el incremento de niveles en determinados sectores.

- 28-29 de abril: intento de controlar las aguas en el interior del recinto cerrado por los terraplenes;
- 29 de abril: análisis de la ejecución de acciones tendientes a reducir los niveles en el río Salado aguas arriba del terraplén de la autopista Rosario-Santa Fe mediante voladura del mismo;
- 30 de abril: acciones tendientes a aliviar y disminuir los niveles en el interior del recinto, mediante voladuras y aperturas de brechas en los terraplenes de defensa.

Todas las acciones señaladas se enmarcan en tres grandes grupos: tareas preventivas y correctivas destinadas a evitar el ingreso del agua a través de la brecha; acciones vinculadas a la evacuación a los fines de salvaguardar vidas humanas y, finalmente, acciones de mitigación a través de la apertura de brechas en los terraplenes para disminuir los niveles de agua en la ciudad.

De las medidas señaladas, la primera de las mencionadas, se considera que debió tomarse, en caso de haberse contado con algún sistema de previsión, en días previos al ingreso del agua. En efecto, en virtud del tipo de cierre que se intentaba realizar puede considerarse su escasa posibilidad de éxito si el mismo se ejecutaba una vez iniciado el escurrimiento hacia el interior de la ciudad. Por esta razón, para la ejecución adecuada de esta medida se hubiera requerido de un preaviso de tres días como mínimo a fin de ejecutar un cierre que tuviera cierta estabilidad como para resistir escurrimientos de relativa velocidad.

Más allá de lo expuesto, debe considerarse que en este caso, y en virtud de los niveles finalmente alcanzados (máximos del orden de los 17 m) se requería la colocación de una importante cantidad de bolsas de arena (procedimiento de cierre de emergencia previsto en el proyecto del tramo II de la obra) en un tramo que superaba con creces la sección de la calle Gorostiaga.

Con respecto al segundo grupo de medidas señaladas, es decir la oportunidad de la evacuación de zonas ya afectadas o bien de aquellas que se encontraban en riesgo severo de inundación, se considera que, aún sin la existencia de un Plan de Contingencia debidamente establecido, el inicio del ingreso del agua a la ciudad y su incremento (los días 27 y 28 respectivamente) conforman un aviso importante que debió haber determinado acciones de evacuación. Para ello, se considera que el día 28 se contaba con elementos suficientes como para disponer la evacuación masiva de la población ubicada al sur de la autopista, además de aquella que ya se encontraba anegada al norte de la misma.

Teniendo en cuenta que los días 29 y 30 se produjeron los máximos niveles en el interior de la ciudad, se puede establecer que un período de antelación de un día podría resultar suficiente como para considerar y ejecutar medidas no estructurales de prevención, tales como la evacuación de la población.

Por último, debe hacerse mención al conjunto de medidas de mitigación cuyo objetivo básico era la reducción de niveles acumulados en el interior del recinto que comprendía el sector Oeste de la ciudad. Al respecto cabe mencionar lo siguiente:

- más allá que no se pudieron concretar, se analizaron acciones tendientes a aumentar la sección de pasaje del agua en correspondencia con el puente de la autopista Rosario-Santa Fe. Simulaciones realizadas en esta pericia (Anexo XI) permiten estimar que la magnitud de la brecha requerida para lograr un descenso significativo del nivel de las aguas no resultaba factible de ejecutarse en las condiciones de emergencia antes descripta;
- la no existencia de un monitoreo continuo y de un análisis de la evolución de la crecida mediante medios adecuados, complicaba la toma directa de la decisión de volar los terraplenes de las obras de defensa al sur de la ciudad. El éxito de estas acciones se encontraba directamente vinculado con la evolución de los desniveles existentes entre el río Salado y el interior del recinto;
- la evolución de niveles registrada en la zona sur, aguas abajo del Puente Carretero (RP 11) y en la zona de desembocadura del río Salado, permitía considerar que la voladura del terraplén de la Avda. Mar Argentino podría haberse efectuado en el transcurso del día 29, como medida precautoria antes que llegaran los máximos volúmenes de excedentes a dicha zona.

En este caso, también se considera que el conocimiento de la evolución de los niveles dentro y fuera del recinto conformado por los terraplenes de defensa, con al menos un día de antelación, podría permitir adoptar medidas del tipo de las señaladas que resultan preventivas y correctivas, al impedir un crecimiento excesivo de los niveles.

En virtud de lo expuesto, la respuesta al presente requerimiento no puede sintetizarse en un único tiempo de antelación en el que debe conocerse la evolución de los caudales y niveles en el río, ya que dicho período depende del tipo de medida que se va adoptar.

En todos los casos, la planificación y organización de un plan de emergencia, así como el entrenamiento del personal, la asignación de roles y medios técnicos, además del pronóstico temprano de la evolución del evento, son los únicos medios eficaces para prevenir y mitigar los efectos graves que se producen durante las crecidas.

No obstante, todas estas medidas de emergencia, analizadas y consideradas en un marco no planificado, tenían severos riesgos de falla, constituyéndose en paliativos de acciones estructurales que no fueron consideradas con antelación al inicio de la inundación en el propio casco urbano de la ciudad.

PREGUNTA N°5:

En materia de previsión, se debió contemplar el fenómeno de endicamiento que provoca la existencia del puente de la autopista Santa Fe-Rosario, con un ancho de escurrimiento de alrededor de ciento cincuenta metros.

La obra que conforma la vinculación entre ambos márgenes del río Salado y que da continuidad a la autopista Rosario – Santa Fe, está compuesta por dos puentes, emplazados en forma paralela, con una luz libre de 155 m y un ancho total de 12,1 m cada uno. En el Anexo II del Informe Pericial se indican las principales características del mismo.

Este puente data de la época de la construcción de la autopista, a principios de la década del 70, donde se materializó un único puente con la luz antes señalada. Dado el ancho natural de expansión del río en esa zona, que resulta del orden de los 1500 m a 2000 m, la diferencia existente respecto de la luz libre del puente condiciona fuertemente el escurrimiento natural en épocas de crecidas, dando lugar a una fuerte contracción del flujo. Tal como se deduce, la reducción de la sección de pasaje resulta del orden de 10 a 12 veces si se considera la situación natural del valle de inundación del río.

Este hecho se pone en evidencia si se comparan las luces de las otras obras de cruce existentes en el tramo inferior del río. En efecto, desde el cruce Empalme San Carlos, hasta la desembocadura del río en el Paraná, se emplazan un total de tres puentes ferroviarios y dos puentes carreteros, incluyendo el analizado en la presente respuesta. Todas estas estructuras presentan luces libres superiores a los 450 m, con un máximo de 1370 m correspondiente al Puente Carretero Santa Fe-Santo Tomé (RP11).

Existían antecedentes que demostraban la insuficiente luz que tenía el puente mencionado a partir de los hechos ocurridos en oportunidad de la crecida del año 1973, donde se registró un caudal pico del orden de los 2500 m³/s. En dicha oportunidad, se produjo una progresiva erosión de las pilas y estribos del mismo, dando lugar al colapso del tablero central.

Si bien este hecho puede considerarse como suficientemente indicativo de la necesidad de incrementar la luz libre del mismo, el puente volvió a reconstruirse con una luz similar a la original, sufriendo, posteriormente, nuevos procesos erosivos en oportunidad de las crecidas de los años 1998 y 2003.

Estudios posteriores realizados por el INA, también indicaban la necesidad de ampliar la luz libre de pasaje, dado que la misma, producía importantes sobreelevaciones de los niveles líquidos del río Salado hacia aguas arriba.

De acuerdo a las modelaciones realizadas para el presente trabajo (Anexo XI), en oportunidad de la crecida del año 2003, la sobreelevación registrada en la sección del puente alcanzó el rango de 0,70 m a 0,80 m. Sin esta sobreelevación, los niveles registrados en la sección de ingreso a la ciudad hubieran sido del orden de los 16 m. Este valor hubiera impedido el ingreso del agua si se alcanzaba a materializar un cierre provisorio contiguo al

final del tramo II de la defensa, a la altura de la Calle Gorostiaga. Si esta condición no se cumplía, como finalmente ocurrió, el agua hubiera igualmente ingresado al casco urbano pero en menor cantidad y con un menor empuje hidráulico sobre el extremo del terraplén de defensa.

Así mismo, debe destacarse que si la ampliación del puente no se realizaba con anterioridad a la crecida, como una medida estructural razonable para reducir los riesgos de sobrepaso de las obras de defensa, su ampliación durante la emergencia no configuraba una medida factible y conducente.

En efecto, sobre la base de los estudios realizados, la magnitud de la brecha que debería generarse para reducir los niveles en forma significativa resultaba superior a los 500 m, situación que convertía a dicha medida en impracticable con medios poco adecuados y con elevadas dificultades de acceso y traslado de equipos al lugar.

En virtud de lo expuesto y dando respuesta al requerimiento solicitado se puede afirmar que la ampliación de la luz del puente de la autopista hubiera sido una medida aconsejable de tomar, no en la emergencia, sino en forma previa. Mediante esta acción se hubiera restituido, al menos parcialmente la capacidad de conducción del río Salado en su tramo inferior y disminuido los riesgos de sobrepaso de la defensa longitudinal.

PREGUNTA N°6:

Que incidencia ello podría representar en relación a la altura que podría eventualmente alcanzar las aguas, sobre las obras de defensa del cordón oeste de la ciudad.

La respuesta a este requerimiento se encuentra parcialmente contenida en la respuesta anterior, donde se estableció que la presencia del puente generó, en oportunidad de la crecida del año 2003, una sobreelevación del orden de los 70 cm a 80 cm respecto del nivel de escurrimiento normal que hubiera ocurrido sin la presencia del puente

Esa sobreelevación, que se genera en la sección del puente, se traslada hacia aguas arriba, alcanzando valores cercanos a 17 m en zonas próximas a la sección de ingreso en la calle Gorostiaga. En este tramo, la cota de coronamiento del terraplén de defensa era de 17,50 m, reduciéndose la distancia disponible entre este nivel y la superficie del agua.

A su vez, en la sección correspondiente a la Calle Gorostiaga, esta sobreelevación se tradujo en la derivación de un mayor caudal hacia el casco urbano de la ciudad. También, se incrementó la carga hidráulica que soportaba, en forma externa, el terraplén de defensa colaborando con la posterior erosión que culminó con la rotura parcial del mismo y el progresivo ensanchamiento de la sección de ingreso.

PREGUNTA N°7:

En consideración a la altura que venía registrando el río, y las precipitaciones acontecidas en los días previos a la inundación, era factible establecer la incidencia que las mismas habrían de representar sobre la margen Oeste de la ciudad de Santa Fe. Deberá contemplarse la información con que contaba la provincia de Santa Fe, con antelación a la emergencia hídrica.

De acuerdo a la información recabada para esta pericia, la cual se encuentra comentada y analizada en el Anexo XII y en el Resumen Ejecutivo, el agua comienza a ingresar a la ciudad el día domingo 27 de abril a partir de la sección contigua a la finalización abrupta del tramo II del terraplén de defensa oeste de la ciudad.

Los días previos a esa fecha, el río Salado venía experimentando un crecimiento progresivo, que se acentuó durante los dos días anteriores a la fecha de ingreso. Durante ese período, el crecimiento de niveles se producía con una tasa de incremento de 0,35 m a 0,40 m por día, variando en la sección de ingreso desde la cota 14,05 m el día 25 hasta superar los 15 m el día 27.

Con relación a las precipitaciones cabe destacar que entre los días 23 al 25 de abril se producen lluvias que se distribuyeron espacialmente en forma de dos núcleos concentrados principalmente en las localidades de La Penca (388 mm) y Colonia Bossi (260 mm). Estas precipitaciones generaron el incremento de niveles mencionado.

En virtud de lo expuesto, tanto los niveles de crecimiento del río como las precipitaciones ocurridas los días previos marcaban un indicio de la existencia de un proceso de crecida en el río Salado. Sin embargo, la estimación de la potencial incidencia que la misma podría tener sobre la margen Oeste de la ciudad solo se podría establecer si se hubiera contado con un sistema de pronóstico que permitiera estimar, con anticipación suficiente, la evolución de dichos niveles en el tiempo

Tal como fue dicho en el Informe Pericial que acompaña el presente cuestionario, al momento de la emergencia del mes de abril, dicho sistema de pronóstico no se encontraba debidamente implementado ni tampoco existían organismos que se encargaran específicamente de efectuar, en forma continua dicha tarea. Es decir, no existía un sistema de pronóstico hidrológico implementado ni se habían considerado herramientas de cálculo que pudieran haber conformado sistemas temporarios alternativos.

Tal como se expresó en la respuesta a la pregunta del Sr. Juez N° 3, no resulta imprescindible contar con un sistema de componentes sofisticados, sino que pueden emplearse, aún en forma transitoria, otros medios de pronóstico de accesibilidad relativamente sencilla. Sobre la base de que estos sistemas sencillos se hubieran encontrado implementados al momento de la emergencia, se podría haber establecido la evolución de niveles en el tiempo, tal como lo demuestra el siguiente ejemplo, donde se visualizan los niveles y caudales máximos que se podrían haber pronosticado:

Tabla con ejemplo de pronóstico simplificado en base a un modelo hidrológico.

Día del pronóstico	Período de lluvia considerada	Pronóstico hidrológico			
		Fecha	RP 70	Hipódromo Las Flores	
			Q _{máx} (m ³ /s)	Q _{máx} (m ³ /s)	Nivel (m)
-	Sin lluvia	22/04/2003	700 (*)	700 (**)	13,33
25/04/03	23 y 24/04/03	28/04/2003	2062	-	-
		29/04/2003	-	2062	15,15
26/04/03	23 al 25/04/03	28/04/2003	3374	-	-
		29/04/2003	-	3374	16,68
29/04/03	23 al 28/04/03	29/04/2003	3572	-	-
		30/04/2003	-	3572	16,87
Sin tiempo para pronosticar	23 al 29/04/03	29/04/2003	3954	-	-
		30/04/2003	-	3954	17,20
Observación: (*) caudal existente a partir de los registros de la RP70. (**) pronóstico elemental, de persistencia del caudal existente en RP70.					

Sobre la base de estos resultados, se podría haber establecido el día 25 de Abril que los niveles en la sección del Hipódromo hubieran superado el nivel de desborde, con el consecuente ingreso a la ciudad, el día 29. Se destaca que este pronóstico es realizado sobre la base de la implementación de un modelo simplificado que, sin embargo, hubiera tenido la precisión suficiente como para predecir el ingreso del agua.

De acuerdo a los comentarios realizados, puede concluirse que la información disponible al momento de la emergencia resultaba suficiente como para establecer un pronóstico en la medida que se hubiera contado con un sistema de previsión adecuado. Tal como se dijo, este sistema no existía en dicho momento, aún cuando se podría haber implementado, con

anterioridad, sistemas alternativos que lo suplieran. Cabe destacar que la necesidad de implementación de este sistema de pronóstico no se establece en la emergencia del mes de abril de 2003 sino que es anterior a la misma a la luz de los recurrentes eventos de crecida que sufrió la ciudad a lo largo del tiempo, en particular el ocurrido en 1998.

PREGUNTA N°8:

Respecto de los asentamientos poblacionales ubicados en el valle aluvional del río Salado y comprendidos dentro del ejido urbano de la ciudad de Santa Fe, y en razón del cuadro que se avecinaba, correspondía disponer su evacuación.

Tal como fue destacado en el desarrollo del Informe Pericial, los procesos de evacuación se encuentran asociados a la ejecución de planes de emergencia debidamente organizados en los cuales se designan roles específicos, se asignan centros para garantizar una evacuación ordenada y se dispone los medios necesarios para llevarla a cabo. Pero básicamente, la conformación de un plan de contingencia vincula niveles de alerta con la oportunidad de realizar la evacuación, de acuerdo a los riesgos que se vayan sucediendo en la emergencia (ver Anexo III).

En el caso particular de la ciudad de Santa Fe, no existía ninguno de los dos elementos antes mencionados: no se había conformado un sistema de alerta debidamente implementado como así tampoco se contaba con un plan de acción en la emergencia. Tampoco se habían implementado sistemas transitorios que permitieran monitorear, al menos en forma relativa, la evolución de los caudales y niveles y por ende, asignarle niveles de riesgo a distintos momentos del evento y tomar las medidas más aconsejables.

Frente a esta falta de elementos de preaviso y de acciones organizadas, corresponde analizar si los hechos ocurridos durante la inundación presentaban elementos de análisis suficientes como para adoptar medidas de evacuación preventivas.

Según se describe en el punto 4 del resumen ejecutivo, la evolución de niveles en el río Salado determinó que el día 27 de Abril las aguas comenzaran a ingresar al interior de la ciudad, comenzando a anegar los barrios asentados en el noroeste de la misma.

Los excedentes ingresados comenzaron a escurrir hacia el sur a través de calles y avenidas y, principalmente, por la avenida circunvalación que, limitada por el propio terraplén de defensa, se convertía en una estructura hidráulica de conducción. El primer obstáculo a la circulación del flujo de excedentes hacia al sur lo constituía la traza de la autopista Rosario – Santa Fe, que contaba con una serie de alcantarillas de paso. A este lugar las aguas llegan el día 28 de abril y en las primeras horas del día 29.

Durante este período se produjo un notorio incremento de los niveles en el río Salado y, por ende, de los caudales que se encontraban ingresando a la ciudad. Este hecho se vio favorecido por dos factores: por un lado fracasaron las acciones tendientes a producir el cierre de la sección de ingreso en la calle Gorostiaga; por otro, se produjo un progresivo proceso de erosión del extremo final del tramo II de la obra de defensa, dando lugar a una ampliación de la brecha de ingreso a la ciudad.

Como consecuencia de lo anterior, los niveles de anegamiento de los barrios ubicados al noroeste de la autopista se habían incrementado notoriamente.

Para esa altura, aún bajo el desconocimiento de los caudales que efectivamente ingresaban a la ciudad y sin contar con un modelo que permitiera predecir el aumento de los mismos y su evolución en el tiempo, sí se conocían los potenciales alcances que tendría la inundación a partir de la observación del mapa de riesgo hídrico elaborado por el INA y readecuado por la DPOH para esta ocasión. A partir del análisis de este documento, era previsible que, atendiendo los niveles topográficos del sector sur de la ciudad y la conformación de un recinto cerrado en el entorno del mismo, los riesgos de anegamiento de dichos sectores eran sumamente elevados.

Tomando en consideración los elementos antes señalados, claramente visibles el día 28 de abril y primeras horas del día 29, resumidos en:

- Efectivo ingreso de agua al interior de la ciudad,
- Fracaso de las medidas de emergencia tomadas a fin de cerrar la sección de ingreso,
- Incrementos de la sección de ingreso por rotura del terraplén de defensa tramo II,
- Anegamiento efectivo de los barrios existentes al noroeste de la autopista,
- Escasa capacidad de las obras de bombeo pluvial frente a la magnitud de los caudales ingresantes.
- Conocimiento de los potenciales alcances de la inundación a partir del análisis del mapa de riesgo hídrico,

Se considera que hubiera correspondido disponer la evacuación del sector sur de la autopista hasta los barrios del sector sur de la ciudad durante el transcurso del día 28 de abril, una vez fracasadas las medidas tendientes a cerrar la sección de ingreso. Se considera además, que esta acción, aún cuando se hubiera tomado los días antes mencionados, podría haberse comenzado a evaluar el día 27 de ese mes a partir de los hechos que se estaban desarrollando en esa jornada en las proximidades de la ciudad.

Asimismo, atendiendo a la falta de elementos de aviso y a la no adopción de medidas alternativas al respecto, no se considera viable que se hubiera tomado esa decisión antes del ingreso de las aguas a la ciudad.

PREGUNTA N°9

9 - Resultaba aconsejable, en razón del cuadro que se presentaba en esos momentos, disponer la evacuación, al menos de determinados lugares aledaños de la ciudad de Santa Fe.

Se interpreta que la pregunta hace referencia a lugares cercanos a la ciudad o dentro de la misma pero que no se encontraban comprendidos por las zonas protegidas por las defensas. Es decir del frigorífico Municipal hacia el norte.

En ese marco geográfico, pueden distinguirse algunas diferencias respecto a la forma en la que se produjeron los procesos de anegamiento e inundación. Básicamente, la zona oeste adyacente a las defensas, sufrió un ingreso abrupto y concentrado del agua a partir de la brecha abierta en el hipódromo. En cambio, en la zona más alejada del casco céntrico el proceso de anegamiento se dio en forma más gradual y distribuida a partir del avance progresivo del flujo desbordado del río.

Si bien esta situación marca procesos dinámicamente diferentes, no implica necesariamente que la situación pudiera no haberse considerado como crítica.

Para efectuar una apreciación acerca de si resultaba aconsejable establecer la evacuación de los sectores emplazados al norte, conviene puntualizar nuevamente algunos conceptos referidos a la oportunidad en que dichas acciones deben ser ejecutadas. En ese sentido, se destaca que los procesos vinculados a la evacuación de zonas inundadas, en forma preventiva, se encuentran asociados al conocimiento que se tenga, en forma anticipada, de la evolución de las crecidas.

Ha sido ampliamente explicado en el informe pericial, que tal pronóstico anticipado y, por ende, los cursos de acción que deben adoptarse en virtud del mismo, deben estar contenidos en un plan de contingencia debidamente implementado que marque el momento oportuno y conveniente para iniciar el proceso de evacuación.

También se ha dicho que en la ciudad de Santa Fe no existía tal sistema de pronóstico y tampoco una planificación previa que marcara zonas de evacuación preestablecidas y zonas de atención a los evacuados.

En esas condiciones, la decisión de efectuar procesos de evacuación debería tomarse a partir de la interpretación más o menos certera de los elementos disponibles en el momento.

En ese marco, conviene mencionar cuáles eran los elementos que permitían estimar esa medida como aconsejable en la zona norte y cuáles elementos generaban incertidumbre para la toma de decisión.

En ese sentido y tal como se explicó en la respuesta a la pregunta N° 2 del Sr. Juez, la previsibilidad de un evento determinado tiene varios aspectos, entre los que resulta importante considerar la *previsibilidad espacial* y la *previsibilidad temporal*.

Con respecto al primer elemento, conviene destacar que, en el tramo inferior del río Salado, crecidas de distinta magnitud tenían una previsibilidad espacial definida a partir de la existencia de mapas de riesgo hídrico. En efecto, los estudios efectuados por el INA marcan que zonas aledañas al norte de la ciudad presentan riesgos de inundación a partir de estar comprendidos dentro de los alcances de las crecidas de 50 y 100 años. Es decir, crecidas que se asocian a eventos de cierta probabilidad de repetición.

En ese mismo sentido debe considerarse que cierta porción de los sectores urbanizados del norte de la ciudad se encuentran claramente emplazados dentro del valle de inundación del río, pero no cuentan con obras de defensa como sí ocurre en el sector oeste del casco central de la ciudad.

Sobre la base de ambos elementos mencionados se puede decir que estos sectores presentaban riesgo previo de sufrir anegamientos de relativa magnitud, por lo cual podría haberse evaluado que los mismos eran susceptibles de ser evacuados.

No obstante, al considerarse la previsibilidad temporal se encuentra la dificultad de no haberse contado en dicha oportunidad con un sistema de preaviso implementado, razón por la cual, más allá de los indicios ciertos que evidentemente existían, no se conocía, con la precisión requerida, la evolución de los caudales y niveles en el tiempo.

Por esta razón, asumiendo que los indicios que marcaban la necesidad de evacuar, el día 28, la zona sur del casco urbano de la ciudad resultan aplicables en el mismo momento para los emplazados en la zona norte, podría decirse que hubiera resultado aconsejable disponer la evacuación de los mismos al menos en la fecha antes mencionada. Se destaca que para ese entonces se habían producido evacuaciones y auto evacuaciones en zonas próximas al casco urbano.

En virtud de lo expuesto, se considera que al menos el día 28 de Abril, donde las condiciones existentes, tanto en el propio casco urbano como en el entorno del mismo hacia el norte eran se suma criticidad, se considera que resultaba aconsejable la evacuación de estos últimos. Esta afirmación resulta válida aún cuando los mismos presentaran características diferentes a la zona central de la ciudad en cuanto a la forma en la que evolucionaba la inundación.

PREGUNTA N°10

Las obras ejecutadas por la provincia de Santa Fe, (voladura de los terraplenes y aperturas realizadas sobre la avenida mar Argentino) en materia de reducir la presencia del agua dentro de la ciudad, fueron adoptadas en tiempo oportuno, o eran decisiones que se debieron tomar con antelación, lo cual hubiere evitado por ejemplo, que la zona Sur (barrio Centenario, El Arenal, el Parque General Belgrano y zonas aledañas) no hubieran sido alcanzadas por las aguas.

De acuerdo al correlato de los hechos ocurridos durante la inundación de la ciudad, cuya síntesis se encuentra desarrollada en el punto 5 del resumen ejecutivo, se puede destacar lo siguiente con relación a las aperturas de los terraplenes de defensa:

- Las acciones comenzaron a delinearse durante el día 29 de abril, momento en que los excedentes ingresados a la ciudad se encontraban en pleno avance hacia el sector sur de la misma.
- Se tomó conocimiento que se evaluó la posibilidad de efectuar aperturas parciales al terraplén de avance del puente de la autopista Rosario Santa Fe, pero que dichas acciones no se llevaron a cabo por la imposibilidad de acceder a la zona con medios adecuados y por la existencia de un gasoducto de alimentación a la ciudad, el cual podría verse afectado por dichas acciones.
- La decisión de la apertura de los terraplenes se tomó finalmente durante la mañana del día miércoles 30 de abril, siendo ejecutadas las mismas por personal del ejército, secundado por maquinarias y personal técnico específicamente designado para tal fin por funcionarios actuantes en ese momento.
- Las voladuras se desarrollaron durante la jornada mencionada, habiéndose ejecutado brechas de alivio en el terraplén Irigoyen, en el sector sur de la ciudad y al oeste de la misma.
- Los efectos de dichas brechas resultaron satisfactorios en el tiempo dado que, a partir del desnivel líquido existente entre el interior del recinto y el cauce del río Salado, se produjo la progresiva evacuación de las aguas acumuladas en la ciudad. Los niveles líquidos comenzaron a descender en la ciudad a partir del 01 de mayo, registrándose un descenso sostenido hasta al menos el día 20 del mismo mes.

A partir del relato antes expuesto, resulta evidente que las acciones tomadas fueron beneficiosas en cuanto a contribuir a la disminución de los niveles de anegamiento en el interior de la ciudad.

La decisión de la oportunidad de concretar estas aperturas estaba directamente vinculada con el conocimiento de la evolución de los niveles líquidos en el interior y el exterior del terraplén de defensa. En principio, más allá del seguimiento que aparentemente se efectuó de esta evolución, no existen constancias de que la misma fuera definida con precisión durante la emergencia dado que no existían lecturas y controles continuos en distintos puntos de la ciudad y del río Salado en su tramo inferior.

Frente a esta incertidumbre, generada por el desconocimiento de los efectos que podrían generarse al abrir una brecha hacia el río Salado, que pudiera agravar la situación, puede considerarse dificultosa la decisión de concretar en forma rápida dicha acción sin una planificación previa.

No obstante, debe señalarse que la ciudad no contaba con secciones de evacuación, tipo fusibles, previamente planificadas. En efecto, resulta un hecho conocido que en el caso de producirse el ingreso de agua a la ciudad, los excedentes no tendrían vías de evacuación alternativas, constituyéndose el sector oeste y sur de la ciudad en un gran reservorio. Bajo esta circunstancia, se debió haber previsto en la concepción integral de las obras de defensa la generación de sectores fusibles de los terraplenes que garantizaran, en caso que los niveles líquidos, a un lado y al otro de los mismos lo permitieran, producir la progresiva rotura y la evacuación de los excedentes. La medida antes mencionada no podría haberse tomado en la emergencia sino que corresponde a una acción preventiva a adoptarse en fechas previas, fuera de la época de crecidas.

Sin embargo, la evolución de niveles registrada en la zona sur, aguas abajo del Puente Carretero (RP 11) y en la zona de desembocadura del río Salado, permitía considerar que la voladura o corte del terraplén de la Avda. Mar Argentino podría haberse efectuado en el transcurso del día 29, como medida precautoria antes que llegaran los máximos volúmenes de excedentes a dicha zona.

Esta afirmación se sustenta en el hecho de que los niveles de agua del sistema Paraná, externos al terraplén, se encontraban en el orden de los 13,69 m, sin variación sensible en el tiempo dado no se registraba situación de crecida en dicho sistema. Así mismo, debe considerarse que en el sector interno sur de la ciudad, los niveles topográficos más deprimidos son orden de los 12,50 m a 13,00 m. Bajo estas condiciones, la generación de brechas hasta un umbral con cota del orden de los 14 m, no hubiera permitido el ingreso de las aguas desde el Paraná al casco urbano y hubiera acelerado los tiempos de evacuación de los excedentes cuando estos comenzaron a crecer en el sector sur de la ciudad. Lo expuesto no implica que los excedentes no hubieran alcanzado los barrios mencionados en la pregunta, aunque sí hubiera permitido que las aguas acumuladas en los mismos hubieran comenzado a evacuarse en forma temprana, reduciéndose el crecimiento del nivel de anegamiento.

En consecuencia, por lo expuesto, se puede concluir que la decisión de efectuar las aperturas en los terraplenes fue beneficiosa en cuanto a sus efectos pero que pudo haberse tomado con un día de antelación, al menos hacia el sistema Paraná.

PREGUNTA N°11

Si era previsible, en razón de haberse ejecutado la obra de defensa por tramos, y atendiendo a la finalización del Tramo II, en consideración a las peculiaridades de la zona, que ante una crecida de relativa magnitud, donde lo hizo. el agua podría ingresar por el lugar

De acuerdo a la descripción realizada en el Anexo II del Informe Pericial, el proyecto ejecutivo de la obra de defensa del tramo II, denominado, “Av. de Circunvalación de la ciudad de Santa Fe. Tramo: Alto nivel RN n° 11 – Av. Blas Parera. 2ª Sección: Autopista AP01 – Av. Blas Parera. Informe Final – Proyecto Ejecutivo – Obras Hidráulicas 1996”, indica lo siguiente:

- *“El perfil está compuesto por un terraplén de defensa contra las crecidas del río Salado, y otro que alojará en su coronamiento la obra vial, una multi-trocha de dos calzadas separadas. Las trazas se desarrollan en el valle de inundación del río Salado entre la autopista AP01 y la continuación de la calle Gorostiaga”.*
- *“La cota de coronamiento de la defensa está basada en un período de retorno de 500 años del río Paraná (determinada por AyEE) que es cota 16,50 IGM en el puerto de Santa Fe más 2400 m³/s del río Salado lo que produce el nivel de curva de remanso en cota 17.08 IGM, sumando a ésta una altura por revancha de oleaje de 0.42 m y una altura por marea eólica de 0.008 m da una cota de 17.508 m. Se adoptó 17.50 cota IGM.”*
- *“El final de la defensa es provisorio hasta tanto se continúe con una tercera sección, ya que en esta zona no se puede efectuar un cierre natural a cota circundante. El cierre se efectuará sobre un muro de mampostería reforzada ubicado sobre el cordón sur de la calle Gorostiaga, inmediatamente al oeste de la entrada al Hipódromo de Las Flores. La calle Gorostiaga tiene frente a dicho cierre una cota de 16.40 IGM por lo que deberá, para crecidas mayores a la máxima histórica (en ese momento era la de 1973 de 2429 m³/s), realizarse un alteo provisorio de la misma, con bolsas o elementos similares que puedan, una vez finalizado el evento extraordinario, ser retirados para rehabilitar el tránsito en dicha arteria.”*
- *“Desde el punto de vista hidráulico, la obra de defensa de la Av. de Circunvalación, va a solucionar los inconvenientes producidos por las crecidas del río Salado a gran parte del área urbana de la zona oeste de la ciudad de Santa Fe. Pero este terraplén que se proyectó, también va a impedir las descargas de los escurrimientos superficiales de origen pluvial hacia el río Salado. Con el objeto de solucionar este problema es que se proyectaron las estaciones de bombeo, los reservorios y alcantarillas.”*

De acuerdo a lo expuesto, el concepto de diseño del tramo II preveía su terminación como un cierre provisorio, contemplando acciones de emergencia para impedir el ingreso de las aguas por el sector deprimido que constituía la Calle Gorostiaga.

Tal circunstancia determinaba que, sin considerar el tramo III, el tramo II no presentaba un cierre completo del anillo de defensa de la ciudad, razón por la cual su nivel de resguardo no

quedaría conformado por la cota máxima de los tramos I y II sino por la cota de la calle Gorostiaga. Esta cota, según los antecedentes existentes, resultaba del orden de los 15 m y podría sobreelevarse, mediante el cierre con bolsas de arena, hasta la cota 16 m aproximadamente.

En ambos casos, los niveles máximos susceptibles de ser alcanzados por la defensa en esa sección, resultaban inferiores a los definidos en el proyecto general del tramo y por ende condicionaban el nivel de protección global que tenía la ciudad. Al respecto cabe destacar que, según se analiza en los Anexos X y XI del Informe Pericial, la crecida máxima que permitiría alcanzar la cota de desborde del terraplén del tramo II presentaba, según el proyecto de la misma, una recurrencia elevada, compatible con los riesgos asociados a su falla. Esa condición de diseño fue definida para un evento de crecida del río Paraná de 500 años de recurrencia, combinado con una crecida del río Salado de 2400 m³/s. Si no se considera la existencia de niveles altos en el Paraná, la crecida del río Salado que hubiera generado niveles de sobrepaso del terraplén, también estaría asociada a períodos de recurrencia elevados, superiores a 800 años.

No obstante, la existencia de menores cotas de terreno en la zona de la calle Gorostiaga, reducían sustancialmente los niveles de protección del casco urbano. En efecto, si se considera la crecida requerida para sobrepasar la cota máxima de dicha arteria se tendría un nivel de resguardo inferior a los 50 años. Asimismo, aún bajo la hipótesis que se pudiera recrecer esa sección, llevándola a cota 16, la crecida requerida en este caso para generar ingresos de agua a la ciudad tendría un periodo de retorno máximo de 200 años.

En ambos casos se observa que la presencia del sector deprimido, considerado en el proyecto de las obras, disminuía significativamente los niveles de protección del casco urbano.

A una conclusión similar se llega si se analiza el riesgo de sobrepaso de esa sección. En efecto, en virtud de lo analizado en el Anexo XI, este riesgo, vinculado al período de exposición comprendido entre la finalización de la obra y el ingreso de las aguas a la ciudad (1997-2003), se encontraría en el orden del 25 %. Este valor aparece como muy elevado si se toma en cuenta las consecuencias que se producirían a partir del ingreso de volúmenes no controlados al interior del casco urbano.

Este riesgo se ve incrementado si se considera que la estructura final de cierre estaba conformada por un muro de mampostería, no adecuado para garantizar su estabilidad frente a la acción de un escurrimiento de relativa elevada velocidad.

Debe considerarse además de lo expuesto que había un antecedente relativamente reciente ocurrido en oportunidad de la crecida del año 1998. En tal ocasión, los niveles alcanzaron prácticamente la cota 16 m, siendo contenidos finalmente por la obra provisoria de cierre implementada.

A partir de los argumentos expuestos y de los riesgos existentes a partir de la conformación geométrica del extremo final del tramo II de la obra de defensa, puede concluirse que resultaba relativamente previsible que dicha sección conformaba un sector de debilidad de la estructura de defensa y que, en caso de producirse crecidas del río Salado, sin influencia del río Paraná, de relativamente bajos períodos de retorno, el agua podría ingresar por el lugar por donde efectivamente ingresó en el años 2003.

Nota: Se destaca que la cita presentada previamente, referida a las consideraciones del proyecto ejecutivo del tramo II de la obra de defensa, presenta párrafos subrayados por esta pericia.

PREGUNTA N°12

Si se debía, en consideración a la finalización de Tramo II, ejecutarse obras complementarias, al tramo realizado, de la obra, y hasta tanto se ejecutara el próximo módulo.

Se considera, a los efectos de responder el presente requerimiento, que las obras complementarias son aquellas acciones estructurales de una envergadura tal que resultan factibles de realizar en un corto período de tiempo y con medios técnicos y económicos acotados.

En ese sentido debe mencionarse que el propio proyecto del tramo II de la obra de defensa preveía una medida complementaria en su concepción al establecer lo siguiente:

“.....La calle Gorostiaga tiene frente a dicho cierre una cota de 16.40 IGM por lo que deberá, para crecidas mayores a la máxima histórica (en ese momento era la de 1973 de 2429 m³/s), realizarse un alteo provisorio de la misma, con bolsas o elementos similares que puedan, una vez finalizado el evento extraordinario, ser retirados para rehabilitar el tránsito en dicha arteria.”

Esta acción intentó efectuarse durante la emergencia sin éxito frente a la magnitud del caudal que estaba ingresando en esos momentos a la ciudad. Por otra parte, la rotura del extremo del terraplén inviabilizó aún más esta acción.

Tal como se ha destacado a lo largo del Informe Pericial, la medida complementaria de emergencia considerada en el proyecto era de difícil implementación si la misma no se realizaba con anterioridad al comienzo del ingreso de las aguas al casco urbano. Más aún, si se considera la evolución final que tuvieron los niveles del río Salado en el sector del Hipódromo, la adopción de la medida indicada no hubiera impedido que finalmente se produjera el ingreso de excedentes, dado que los niveles alcanzados hubieran superado en aproximadamente 1 m el nivel superior de la defensa provisorio. En tales circunstancias no hubiera podido garantizarse la estabilidad de un cierre provisorio constituido por bolsas de arena.

Estos argumentos permiten efectuar algunas consideraciones respecto de la factibilidad de ejecución y eficiencia que tendría la materialización de cierres de emergencia en la zona del Hipódromo:

- si estos cierres no se ejecutan con antelación suficiente, previo al inicio del ingreso del flujo a la ciudad, resulta dificultosa su materialización;
- el segundo aspecto es que la magnitud del cierre necesario para minimizar dichos ingresos no resulta menor, atendiendo que el mismo debería ejecutarse hasta una cota próxima al coronamiento existente y con una longitud que supera holgadamente los límites de la calle Gorostiaga.

Por esta razón se entiende que una de las medidas complementarias que podría haberse encarado en forma previa al ingreso del agua a la ciudad, a fin de mitigar los efectos de dicho ingreso, consistía en la ejecución de obras de protección del extremo final del terraplén de defensa. Esta acción debería haberse materializado mediante medios de protección acordes y compatibles con la acción dinámica que genera el flujo en su pasaje, (muros deflectores, protecciones del talud, disminución progresiva del talud en el extremo, etc.). Esta acción hubiese permitido aumentar la estabilidad estructural del extremo del talud frente a dicha situación.

La medida antes enunciada no hubiera impedido el ingreso del agua a la ciudad, pero, probablemente, al mantener estable la sección de ingreso, hubiera reducido los caudales que finalmente ingresaron. Al margen, aún considerando que las obras encaradas para la protección igualmente hubieran fallado, las mismas habrían al menos retrasado el ingreso abrupto del flujo.

PREGUNTA N°13

En plano de hipótesis de trabajo, que hubiera acontecido en similares circunstancias, de encontrarse concluido el Tramo III, en la extensión que se lo había definido en un principio.

Si bien la pregunta hace referencia a la consideración del tramo III según su anteproyecto de obra definido en el año 2001, se considera conveniente efectuar algunos comentarios respecto del tipo de obra requerido en la materialización de la prolongación del tramo II:

- En el momento de ocurrencia de la crecida, el tramo III no contaba con un proyecto definitivo, razón por la cual, su materialización hubiera requerido la ejecución de tareas previas de ajuste y definición para permitir su adecuada concreción.
- Se ha establecido en esta pericia que uno de los factores preponderantes en el proceso de inundación registrado en el 2003 fue la errónea concepción del extremo final del tramo II y la falta de concreción del tramo III. Esto determinaba un anillo de defensa abierto que aumentaba el nivel de vulnerabilidad de la ciudad.
- En virtud de ello, para alcanzar una condición de cierre homogéneo de la ciudad, con similares niveles de resguardo en todos los sectores potencialmente afectados por el río Salado, debería haberse ejecutado el tramo III tal como fue definido posteriormente en su proyecto ejecutivo (2003). Cualquier solución intermedia hipotética adoptada, máxime si las mismas no cuentan con proyectos ejecutivos definitivos, podrían haberse considerado solo como paliativos y no como soluciones integrales a los riesgos de inundación por el río Salado.
- Según estos criterios de análisis, en el Anexo XI se evalúan los efectos que se hubieran registrado si la obra defensa se hubiera construido con el proyecto definitivo completamente terminado (2003).

Sobre la base de estas aclaraciones, se ha considerado igualmente la hipótesis de que se hubiera materializado el terraplén de defensa según su concepción original de anteproyecto (2001)

A los fines de clarificar la situación en que se encontraba el sistema de defensa, previo a la crecida del año 2003, se destaca que en esa fecha sólo se encontraban concluidos los tramos I y II, tal como habían sido definidos en sus correspondientes proyectos. En tanto, tal como se dijo anteriormente, el tramo III constaba sólo con un anteproyecto al cual no se pudo tener acceso durante el desarrollo del presente trabajo pericial.

A partir de datos recabados en otros informes antecedentes, el anteproyecto de la obra de defensa prolongaba la misma desde la sección final del tramo II hasta aproximadamente 2250 m aguas arriba de la misma con una cota de coronamiento de 17,75 m. De acuerdo a estas

características del tramo III de la defensa, se efectuó una simulación hidráulica en la cual se consideró que no se producen derivaciones del caudal afluente al tramo inferior del río Salado, modelándose una prolongación del terraplén hacia aguas arriba. Esto pone del lado de la seguridad a los resultados obtenidos ya que en la realidad con este tramo de la defensa, según su concepción de anteproyecto, no se impide de manera absoluta el ingreso de agua en la zona norte aledaña a la ciudad.

La simulación realizada respecto de esta hipotética situación, determinó que la crecida del año 2003 hubiera pasado con niveles inferiores (17,29 m) a los previstos como cota de coronamiento en la sección del Hipódromo para este cierre (17,50 m) y con mayor revancha respecto del anteproyecto del tramo III (17,75 m).

Bajo las condiciones antes expuestas, puede afirmarse que en caso de haberse concretado la prolongación de la defensa, según su concepción original, no se hubiera producido el ingreso de las aguas de la forma abrupta e incontrolada como efectivamente ocurrió en el año 2003.

Cabe efectuar la salvedad que los niveles que se hubieran registrado en dicho caso resultaban elevados, generándose importantes desniveles y sollicitaciones hidráulicas sobre la cara externa del terraplén. Este hecho se hubiera producido con baja o escasa influencia de los niveles en el río Paraná, en la zona de la descarga.

Sin embargo, la escasa longitud de terraplén definida en el anteproyecto (2250 m) no hubiera impedido que se registren desbordes en la zona norte aledaña a la ciudad, los que hubieran tenido una progresión tanto en el crecimiento de niveles como de caudales derivadas menos abrupta que la que se registró efectivamente en la sección de ingreso de la calle Gorostiaga.

En consecuencia, en virtud de lo expuesto puede concluirse que, de haberse ejecutado la obra de defensa del tramo III, según su concepción original de anteproyecto, el agua no hubiera ingresado a la ciudad por el lugar que lo hizo ni se hubiera impedido totalmente el ingreso de agua en zonas más alejadas. A pesar de ello, es importante remarcar que dicho ingreso hubiera tenido una progresión en el tiempo más gradual. De este modo se hubiera evitado el abrupto crecimiento de caudales y volúmenes acumulados registrado en abril de 2003 en el casco central de la ciudad.

PREGUNTA N°14

Técnicamente, y en el supuesto de haber estado concluido el tramo III de la defensa del cordón Oeste de la ciudad de Santa Fe, conforme fuera diseñado originalmente, las aguas habrían ingresado a la ciudad, y en tal caso, las consecuencias hubieran resultado similares o menores.

Tal como fue destacado en anteriores respuestas, no se contaba con un proyecto ejecutivo del tramo III, habiéndose verificado la existencia de un anteproyecto de obra que concebía una prolongación del tramo II existente hasta terrenos emplazados al norte de la ciudad.

Según se desprende de la respuesta a la pregunta N° 13 del Sr. Juez, la obra del tramo III hubiera impedido el ingreso del agua a la ciudad durante el evento de crecida del año 2003, en la forma en que efectivamente lo hizo por calle Gorostiaga. De este modo, se hubiera evitado que un lapso de 36 hs el agua avanzara en forma intempestiva sobre el sector Oeste de la ciudad, alcanzando alturas superiores a los 3 m por sobre los niveles de calle.

El ingreso de agua por la zona norte, tal como se expresó en la respuesta anterior, hubiera dado lugar escurrimientos más distribuidos en el espacio y en el tiempo, retardando la llegada de los mismos al casco central de la ciudad y disminuyendo los volúmenes finalmente ingresados.

Por esta razón, se considera que la ejecución de este tramo, según su geometría original, hubiera generado consecuencias menores a las efectivamente registradas durante la crecida.

Se hace notar que, si en lugar de ejecutarse esta obra según su anteproyecto se hubiera materializado una defensa equivalente a la posteriormente definida en el proyecto ejecutivo, los ingresos de la zona norte también se hubieran evitado.

PREGUNTA N°15

Establecer las consecuencias que habrían acontecido, de haberse mantenido el terraplén provisorio que fuera construido en el año 1998, en similares condiciones a que fuera ejecutado, cota IGM 16, el cual se extendía desde la conclusión del Tramo II de la obra de defensa hasta la altura de calle Estado de Israel.

El terraplén provisorio ejecutado en oportunidad de la crecida del año 1998 fue realizado sobre la base de una premisa establecida en el proyecto ejecutivo del tramo II de la obra de defensa. En efecto, tal como se advierte en el informe de proyecto elaborado por la Dirección Provincial de Vialidad, *“La calle Gorostiaga tiene frente a dicho cierre, una cota de +16,40 m IGM, por lo que deberá, para crecidas mayores a la máxima histórica, realizarse un alteo provisorio de la misma, con bolsas o elementos similares que puedan una vez finalizado el evento extraordinario, ser retirados para rehabilitar el tránsito en dicha arteria”*.

Tal como se ha expresado a lo largo del Informe Pericial, en particular en el Anexo II del mismo, se considera que esta medida de proyecto configuraba, en si misma, un elevado riesgo dado que su éxito dependía de la antelación con que se encararan las acciones de cierre y de la mayor o menor rapidez en la evolución de los niveles en el curso del río Salado.

En efecto, durante el año 1998, la medida fue desarrollada con éxito debido principalmente a dos factores: Por un lado se pudo recrecer la sección deprimida de la calle Gorostiaga hasta un nivel igual o levemente superior al máximo que alcanzaron las aguas en ese sector. Por otra parte, evidentemente se efectuaron las acciones de cierre con mayor anticipación, situación que se vio favorecida por la menor tasa de crecimiento de los niveles en el río Salado, con relación a la efectivamente registrada en la crecida del año 2003.

En este último evento, tal como se demuestra en la simulación hidráulica desarrollada en el Anexo XI, los niveles máximos alcanzados en dicha sección resultaron cercanos a la cota 17 m IGM. Por esta razón, en caso de haberse mantenido la defensa provisoria o de haberse vuelto a ejecutar con anterioridad al ingreso del agua a la ciudad, la misma no hubiera sido eficaz a los efectos de evitar su sobrepaso, no pudiendo garantizarse su estabilidad con una carga de aproximadamente 1 m por sobre su cresta. A su vez, con esos niveles, el agua también hubiera ingresado progresivamente en el hipotético extremo final que se emplazaría aguas arriba del hipódromo.

Bajo estas condiciones se puede decir, a su vez, que se hubiera producido un retraso en el ingreso del agua a la ciudad, con un retardo de aproximadamente 24 hs respecto del día que efectivamente lo hizo en esta crecida.

Queda claro que este retardo hubiera generado una diferencia sustantiva en el caso que se hubiera contado con un plan de emergencia, o bien se hubieran planificado acciones preventivas con relación a la población. Es decir, una vez que el agua hubiera superado la cota de la defensa provisoria y no pudiendo garantizarse la estabilidad de la misma, el agua

podría haber ingresado igualmente en forma abrupta, razón por la cual se hubiera ganado al menos un día para la toma de medidas preventivas.

Más allá de lo expuesto, las acciones que se encararon durante la crecida del año 2003, no dieron resultados satisfactorios dado que las mismas comenzaron a ejecutarse una vez que el agua había comenzado a ingresar a la ciudad. Considerando la forma en que evolucionaron los niveles en esa crecida, no se considera factible que se hubiera podido realizar el cierre en la condición de emergencia suscitada, máxime si la misma hubiera tenido que recrecerse por lo menos hasta la cota 17 m. Esta acción debió ser tomada con mayor anticipación a fin de garantizar el no ingreso de las aguas y completar una sección de cierre con medios más estables que no hubieran podido ser colocados con el pasaje de agua hacia el interior de la ciudad.

PREGUNTA N°16

Para que formulen observaciones y/u objeciones, si las hubiera, al estudio de "Aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del Río Salado - Abril 2003", encargado por el Gobierno de la Provincia de Santa Fe.

A continuación se presentan las opiniones particulares de cada uno de los peritos.

El material evaluado incluye las ampliaciones al Informe "Análisis de los aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del río Salado de abril/mayo 2003" de fecha 09/dic/2003, conforme a cuestionario del Ministerio de Asuntos Hídricos Agr. Alfredo A. Raparo recibido en fecha 19/mar/2003. El mismo se compone de 12 folios (faltando el folio 9).

Opinión del Perito Jorge Daniel Bacchiega:

El Perito efectuó un análisis del estudio denominado "*Aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del Río Salado - Abril 2003*", a partir del cual se pueden hacer los siguientes comentarios:

El informe analiza técnicamente todos los factores inherentes al proceso de inundación que sufrió la ciudad de Santa Fe en Abril de 2003, considerándose que, en términos generales realiza un adecuado tratamiento de los aspectos hidrológicos e hidráulicos que caracterizaron a la misma, en el contexto de los objetivos planteados en el informe.

Se considera relativa la opinión vertida en el mismo con respecto a la posibilidad técnica de efectuar un pronóstico adecuado de la crecida debido a la escasez de datos meteorológicos disponibles. Si bien es cierto que dicha información no se encontraba debidamente sistematizada, la misma constituía una base de datos importantes como para caracterizar, al menos preliminarmente, la distribución de las precipitaciones que se producen en la cuenca.

En efecto, este Perito considera que uno de los problemas básicos en cuanto a la información meteorológica no estaba dado por su cantidad o calidad sino por el uso que finalmente se hacía de la misma en cuanto a su incorporación en algún sistema de pronóstico, complejo o simplificado, que permitiera establecer al menos órdenes de magnitud de las crecidas.

En ese sentido, el informe de referencia da un valor relativo a la efectividad de los pronósticos previos en cuanto a su efectividad para la ejecución de acciones tendientes a mitigar o prevenir las consecuencias de las crecidas. Señala, además, que el evento de tormenta que originó la crecida de abril de 2003, puede catalogarse como "*tormenta súbita*" la cual, dada su evolución generó un tiempo insuficiente como para encarar acciones complementarias.

Al respecto este perito considera que los pronósticos previos, encuadrados dentro de un plan ordenado de Contingencia, resultan una de las herramientas no estructurales más adecuadas para complementar la acción de medidas estructurales de mitigación. En efecto, en el caso concreto de la ciudad de Santa Fe, se ha establecido que la misma cuenta con un elevado nivel

de vulnerabilidad dada su ubicación relativa dentro del valle de inundación del río Salado. En ese contexto, aún con la existencia de obras estructurales bien proyectadas y materializadas, no puede garantizarse la eliminación del riesgo asociado a crecidas de cierta envergadura, razón por la cual la implementación de un plan de Contingencia, no solo resulta eficaz sino que también es imprescindible para poder mitigar adecuadamente las graves consecuencias derivadas de procesos de inundación.

Esta condición resultó evidente en el caso de la tormenta de Abril de 2003, donde aún concordándose con que el crecimiento del hidrograma de crecida resultó relativamente abrupto, de haberse contado con un adecuado sistema de monitoreo y principalmente, con un plan de acción de emergencias bien organizado, se podrían haber reducido las consecuencias finales que efectivamente se produjeron en la ciudad. Es cierto también que en este caso, aún contando con ese sistema de alerta implementado efectivamente, no se hubiera contado con tiempo suficiente como para resolver problemas estructurales serios no previstos y planificados con suficiente anterioridad al evento.

Finalmente se destaca que este Perito considera que la ocurrencia de un evento de crecida como el desarrollado en abril de 2003, aún cuando este pueda ser catalogado como extraordinario, no puede considerarse como único factor preponderante en la generación del proceso de inundación experimentado por la ciudad. En efecto, se considera que dicho evento es el producto de una combinación de factores entre los cuales, la magnitud y forma en la que se desarrolló la crecida es una solo uno de ellos. La existencia de una serie de acciones antrópicas, desarrolladas en el cauce del río y en el entorno de la ciudad constituyen factores relevantes a los fines de evaluar las reales causas que dieron origen a la inundación registrada.

Opinión del Perito Juan Carlos Bertoni:

1. Introducción

El material bajo análisis se presenta en un Informe Final compuesto de un (1) volumen que posee 169 páginas y un CD que concentra diversos archivos.

El material del Informe Final se encuentra organizado en 12 capítulos, cuyos títulos se indican a continuación:

1. Objetivos
2. Recopilación de Antecedentes
3. Características de la Cuenca
4. Caracterización Climática e Hidrológica de la Zona
5. Caracterización Geomorfológico e Hidrogeológica Zonal
6. Análisis Comparativo de los Antecedentes de las Crecidas
7. Modelación de la Crecida del Año 2003
8. Funcionamiento de la Obras durante la Crecida del 2003
9. Análisis de Riesgos y Previsibilidad del Fenómeno del Año 2003
10. Análisis de Eventos Similares en Otras Grandes Ciudades
11. Análisis de la Toma de Decisiones

12. Conclusiones

El material del CD se encuentra organizado en varios subdirectorios referidos a los siguientes tópicos:

- (i) figuras,
- (ii) fotografías,
- (iii) planos, y
- (iv) tablas de salidas computacionales.

De acuerdo a lo establecido por los autores, el objetivo general del trabajo es (pág. 4): *“la elaboración de un informe técnico referido a los aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del río Salado de abril de 2003, que produjo la inundación de un sector de la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas, incluyendo la consideración de las obras existentes durante la crecida y las obras previstas con anterioridad a ella”*.

Según advierten sus autores (pág. 4): *“El informe está construido sobre la base fáctica de datos oficiales no controvertidos de lluvias, caudales, alturas hidrométricas y configuración, características y antecedentes de las obras de drenaje, de defensa y de vías de comunicación de interés para el análisis de los escurrimientos del río Salado”*.

2. Evaluación Técnica

El material presentado se encuentra en general bien organizado, abarcando tópicos que se estima apropiado abordar a los fines del objetivo propuesto. A continuación se indican comentarios, observaciones y/u objeciones relativos a cada uno de los aspectos tratados.

Acerca de la Recopilación de Informaciones:

De la lectura del Informe Final se desprende que los autores han realizado un apropiado esfuerzo de recopilación de antecedentes en las principales instituciones provinciales y nacionales con jurisdicción en la región objeto del estudio. No obstante ello, se observa la no inclusión de la Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe en el listado de instituciones consultadas a los efectos indicados. El resultado de la recopilación, detallado en una sucesión de tablas, es compatible con el tiempo total impuesto para la realización del Informe analizado. Como hecho a considerar se destaca que entre los antecedentes de estudios recopilados no se presenta ninguno anterior a 1986.

Acerca de la Región de los Bajos Submeridionales:

En lo que respecta a la caracterización de la cuenca la misma comprende una descripción general seguida de un análisis más detallado de cada una de las principales subcuencas del río Salado en territorio santafesino. El material presentado cumple el objetivo de brindar un panorama global sobre las principales características de varias de las partes de la cuenca.

El hecho de haberse considerado dentro de esta descripción hasta subcuencas de pequeño impacto hidrológico, tales como las subcuencas cerradas de Morteros y Josefina, se

contrapone con la ausencia absoluta de caracterización en todo el Informe de la región de los Bajos Submeridionales. Tal como surge del texto indicado en el propio Informe Final, esta importante región del norte provincial, que posee como características hidrológica fundamental su gran capacidad de acumulación, es drenada por el A° Calchaquí, uno de los principales afluentes del río Salado en el territorio santafesino. La significativa importancia de los aportes del A° Calchaquí es señalada en forma reiterada en el Informe Final al indicarse que el mismo es el responsable del 50% de los aportes observados a la salida de la cuenca (páginas 12, 63, 107, 108, 113 y 116, entre otras).

La ausencia antes indicada posiblemente derive de la recopilación efectuada, basada en el material producido en el año 1986 por el Centro Regional Litoral (CRL) del Instituto Nacional del Agua (INA, ex INCyTH) en su trabajo “*Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Salado*”. En dicho trabajo el A° Calchaquí fue considerado un curso de “aporte externo” al río Salado, no incluyéndose a los Bajos Submeridionales en los planos y descripciones de la cuenca. Actualmente se conoce la importancia hidrológica de los aportes de dicha zona, fundamentalmente durante la ocurrencia de crecidas máximas asociadas a períodos húmedos generalizados.

Acerca de la Importancia de los Canales Artificiales:

Al abordarse la infraestructura existente que ha interactuado con la crecida del año 2003, con muy buen criterio se ha incluido a los canales de drenaje, un tópico directamente relacionado al objeto fundamental del estudio. Al referirse a los mismos y reproduciendo lo expresado en el informe previamente citado del CRL-INA (ex INCyTH), los autores citan:

“En los últimos años se han construido varios cientos de kilómetros de canales con el fin de facilitar el escaso escurrimiento de superficie.”

A lo largo del texto los canales artificiales son considerados elementos que han alterado las características del drenaje local tanto en lagunas como en cauces (pág. 96 y 97 respectivamente), al tiempo de presentar los mismos rugosidades muy diferentes a las de las cañadas naturales (pág. 99). En este sentido, cabe reproducir aquí aquello que fuera a su vez reproducido en el Informe Final con base en el ya mencionado trabajo del CRL-INA (1986):

“El funcionamiento hidrológico superficial del sistema ha sido alterado drásticamente mediante la excavación de canales de drenaje, uno de los cuales conecta a la laguna Palos Negros con La Verde, y facilitan la comunicación con la subcuenca Saladillo-Las Conchas”.

....

“Desde hace un tiempo la construcción de canales de drenaje en las partes altas de las subcuencas produce crecientes muy concentradas en los colectores principales, transformándose así en “extraordinarias” casi todas las crecientes anuales. Los efectos más avanzados de este fenómeno se observaron en el Cululú y en el San Antonio.

...

“Las cañadas funcionan como colectores locales del escurrimiento superficial e hipodérmico. Tienen casi todas un régimen temporario o intermitente, conduciendo agua solamente en los períodos lluviosos del año o después de las tormentas importantes. Desde el punto de vista hidrológico están caracterizadas por gran rugosidad, provocada por la vegetación de tipo pajonal o espartillo”.

Pese a la incorporación de estas interpretaciones del CRL-INA (1986), no parece existir en relación a este aspecto conexión entre las distintas partes del Informe Final. En efecto, el tema de los canales es dejado de lado al identificarse posteriormente todos los aspectos hidrológicos e hidráulicos que habrían participado en la conformación de la onda de crecida del año 2003.

Acerca del Uso y Ocupación del Suelo:

Se observa que no se incluyó ninguna evaluación de la evolución temporal del uso del suelo en la cuenca. Por constituir uno de los factores que incide sobre la magnitud de las crecidas, se considera que la inclusión de dicho análisis (o al menos la identificación de la necesidad del mismo), habría contribuido para ampliar el espectro de causas posibles concurrentes al problema.

Acerca de la Caracterización climática:

La caracterización climática presentada se encuentra profusamente ilustrada, cubriendo 18 páginas del Informe Final. Abarca análisis sobre las variables: temperatura, evaporación, evapotranspiración, humedad relativa, viento y precipitación. En este último caso se ha incluido un análisis referido a las distribuciones temporal y espacial de lluvias diarias, mensuales y anuales. Entre otros aspectos merecen destacarse los siguientes:

- El material incluido consiste, en gran medida, en una reproducción del contenido del trabajo previamente citado del CRL-INA (1986);
- Dentro de los años húmedos históricos se cita al año 1914, indicándose los siguientes datos: en la localidad de Esperanza precipitaron 574 mm en febrero y 1710 mm a nivel anual;
- El año 1989 se destacó por ser un año marcadamente seco, especialmente en la localidad de San Justo.

De lo citado se desprende que:

- (a) En la historia reciente existió al menos un año muy húmedo con anterioridad a 1954 (año de inicio de la toma sistemática de datos de caudales del río Salado en la sección correspondiente a la ruta provincial 70);
- (b) En los últimos años se ha presentado un año con características marcadamente secas.

Acerca de la Caracterización Hidrológica-Hidráulica:

En lo que respecta a la caracterización hidrológica, en la misma se analizan series de niveles y caudales en diversas estaciones de la red de drenaje del río Salado. Estos análisis incluyen estadísticas descriptivas de las series. Se destaca el interés que reviste algunas reproducciones incluidas por los autores dentro del Informe Final analizado. En este sentido cabe destacar la caracterización de la variabilidad de los caudales del río Salado a lo largo de su cuenca de aporte, con base en las estaciones: Tostado, La Cabral, Petronila; Cululú y Esperanza. Dicho análisis fue originalmente elaborado por CRL-INA y presentado en el trabajo previamente citado (CRL-INA, 1986). La misma corresponde al período 1954-1983 e indica que, a excepción de la estación Tostado, el módulo supera ampliamente el caudal característico medio, lo que resulta claramente indicativo de las características de variabilidad del régimen dentro del territorio santafesino. A la misma conclusión arriban los autores al analizar la curva de permanencia de los caudales medios mensuales en la RP70 con registros hasta el año 2003, indicando una importante diferencia entre el módulo del río y el valor de excedencia de caudales medios mensuales del 50 %. Este análisis es interesante y denota la gran variabilidad natural típica del río Salado.

El material presentado en relación a la caracterización hidrológica de la zona (cubierto en 21 páginas) permite realizar, a su vez, los siguientes comentarios:

- 1) No existe ninguna referencia o comentario referido a las crecidas históricas del río Salado ocurridas previamente al año 1954 (año correspondiente al inicio de la toma sistemática de niveles por parte de la actual Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, SSRH, en la estación RP70). Varias de estas crecidas afectaron de distinto modo a la ciudad de Santa Fe.
- 2) No se realiza ninguna alusión a las series históricas disponibles de niveles medidos por la DNCPyVN (sede Paraná) durante el período 1928-1993 correspondientes a dos puestos hidrométricos localizados en el río Salado aguas abajo de la ruta provincial 70 (RP70): estaciones Puente Mihura y Empalme San Carlos respectivamente.
- 3) Se observa un abordaje incompleto del texto referido a las consecuencias hidráulicas que implica la presencia conjunta de los ríos Paraná y Salado sobre los niveles y caudales del tramo inferior de este último. En efecto, en relación a los niveles del río Salado observados en la estación INALI se indica (pág. 46):

“En condiciones de aguas bajas del río Paraná, el río Salado se independiza de esa condición de borde y los niveles de éste último se establecen por sus condiciones hidrodinámicas propias, y en ocasión de grandes crecidas del río Salado pueden influir sobre los niveles que adopta el río Paraná en el complejo entramado Laguna Setúbal - Río Coronda/Santa Fe - Canal de Acceso al puerto de Santa Fe.”

Continuando con la misma línea, al referirse a la influencia entre ambos ríos, los autores citan (pág. 65 y 66):

“Desde el punto de vista del funcionamiento de ambas cuencas, las mismas resultan independientes, e inclusive con cierto defasaje entre los períodos de picos, dado que

el Paraná tiene su período de crecida de diciembre a marzo, mientras que el río Salado tiende a su crecida hacia el mes de mayo.

Es lícito entonces considerar la probabilidad de ocurrencia de eventos conjuntos como el producto de las probabilidades de ambos fenómenos independientes, es decir que un período de retorno de 100 años podría ser la combinación de un evento de 50 años de recurrencia en un río y 2 años de recurrencia en el otro.

No obstante ello, conviene recordar que ha habido casos de mutua dependencia entre los niveles de ambos ríos, para el caso de crecidas de larga duración como el río Paraná en 1983 y 1998, o la crecida del año 2003, que ha generado caudales tan altos en el río Salado que tuvieron su influencia sobre el nivel del río Paraná en Santa Fe.

Al definirse una crecida de proyecto para dimensionar una cierta obra el nivel de riesgo al que estará sometida la misma depende de:

- Probabilidad de excedencia de la crecida de proyecto

-Vida útil de la obra

Esto es estrictamente válido para obras y cursos de agua con regímenes independientes, sin influencias de cuencas vecinas.

Pero el área de la zona de Santa Fe se ve sometida a la influencia conjunta de dos cursos de agua como son el Paraná y el Salado, siendo el primero de ellos el que determina en ciertas condiciones las condiciones de borde de la posibilidad de descarga del río Salado.

Sin embargo, es sabido que para el caso de altos caudales en el río Salado, se produce una dependencia de los niveles del puerto de Santa Fe respecto de los niveles generados por el río Salado, dependencia que es más fuerte cuando más bajos son los niveles del río Paraná.

En cambio para crecidas importantes del Paraná y crecidas de menor importancia del río Salado, la afectación del nivel debido a éste último es prácticamente despreciable. Se destaca que el río Salado llega al Paraná mediante la descarga en Cuatro Bocas y desde allí al río Coronda y al Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe”.

Se observa, por lo tanto, apenas la existencia de un comentario somero en relación a la importancia de la influencia de los niveles del río Paraná sobre los niveles correspondientes al tramo inferior del río Salado, fundamentalmente durante crecidas extremas del primero. Este aspecto es de importancia a los efectos del estudio, ya que se asocia a las estimaciones de caudales del río Salado en el tramo inferior del mismo.

- 4) Se destaca que no existe ninguna referencia a la posible influencia de “aguas abajo” a la que podrían estar sujetos los niveles de las estaciones RP70 y Ea. Menchaca, un aspecto íntimamente relacionado con la observación anteriormente citada.
- 5) Finalmente, en el análisis de la ley que define la relación entre alturas y caudales correspondientes a la RP70 (relación h-Q), se citan los datos de aforos efectuados por la firma EVARSA a partir del año 1990. Sin embargo, no se relacionan dichos aforos con los niveles observados en el río Paraná.

En lo referente a la estadística de caudales, cabe indicar que el Informe Final se apoya en el estudio realizado por el INA-CRL (1998), “*Estudio Hidrológico e Hidrodinámico para la Nueva Conexión Vial Santa Fe-Santo Tomé*”, el cual, como era lógico, incluyó informaciones hasta el año 1998. También se citan estimaciones efectuadas por INCOCIIV (2003) en su informe “*Estudio Hidráulico de Defensa contra Inundaciones*”. Como tal, se sostiene en el Informe el brusco cambio de recurrencia de los valores extremos al incorporarse el caudal máximo del año 2003. Dado que esta cuestión se liga a la previsibilidad estadística de la crecida, se estima que habría sido deseable encontrar en el material analizado una profundización de dichos estudios o bien la recomendación de su realización a futuro.

Del mismo modo, se estima que a los fines de constituir un enfoque completo sobre los aspectos hidrológicos del problema, el Informe Final debería haber recomendado la conveniencia de encarar estudios de actualización en este sentido tales como, por ejemplo, el análisis de la simulación vía la clásica metodología de transformación lluvia-caudal.

Acerca de la Evaluación del Cambio Climático:

En lo que se refiere a la evaluación del cambio climático, merece indicarse que los autores dedican 20 páginas de su Informe Final a este tópico, siendo el mismo profusamente ilustradas por aproximadamente 20 figuras que componen uno de los anexos del Informe. Dentro de este ítem los autores presentan aspectos variados, tales como el cambio climático global, tendencias climáticas en Argentina, consecuencias hidrológicas de los cambios de la precipitación y cambios de la precipitación en Argentina.

El material presentado tiende a colocar al cambio climático global como una de las causas más relevantes dentro del caso analizado. Sin embargo, los propios autores citan la dificultad que aún existe para la atribución de los cambios climáticos a niveles regional y local. En ese sentido cabe destacar lo indicado en pág. 82:

“La asignación de un cambio climático regional al aumento de las concentraciones de GEI (Gases del Efecto Invernadero) no es una tarea sencilla. Los procesos interactuantes en el sistema climático son tantos y de tal complejidad que se ha tratado de analizar las respuestas del clima a un determinado forzamiento mediante simulaciones efectuadas con los así llamados modelos climáticos globales (MCG) que ya son herramientas que permite reproducir bastante bien el clima global, aunque aún presentan ciertas deficiencias en las escalas locales y regionales”.

“Para el sudeste de América del sur, incluyendo la Argentina Subtropical, ningún MCG (Modelos de Cambio Global) realiza una tarea aceptable en la simulación de las actuales precipitaciones, ya que producen 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. Una alternativa que se está ensayando es anidar modelos regionales de alta resolución en las salidas de los experimentos de los MCG”.

La extensión que es dedicada al cambio climático se contrapone drásticamente con el reducido (y en la mayoría de las veces, inexistente) abordaje de otros aspectos tan importantes como aquel para los fines del objetivo general del Informe. Como ejemplo, cabe citarse que en todo el Informe no se abordan en detalle:

- a) los cambios actuales en el uso del suelo en las regiones rurales de la cuenca del río Salado (desmonte, expansión agrícola, etc.);
- b) los efectos hidrológicos e hidráulicos asociados a la ampliación de la cantidad de cursos de agua que drenan actualmente la cuenca del río Salado (canales artificiales, cañadas naturales con secciones artificialmente ampliadas, etc.);
- c) los efectos de la falta de planificación urbana de las ciudades localizadas a la vera del río Salado, especialmente de la ciudad de Santa Fe.

Por otra parte, enfatizando el peso que el cambio climático posee ante el problema analizado los autores indican (pág. 146):

“Los tiempos de recurrencia de los valores extremos se calculan usando técnicas estadísticas utilizando los registros del pasado, que en el contexto del rápido cambio climático regional, ya no representan el clima presente, ni mucho menos son representativos del futuro. Por ello, estas técnicas, basadas en la suposición de que el clima es estacionario, ya no son apropiadas para estimar los parámetros de diseño”.

A partir de esta afirmación parecería que se hecha por tierra los estudios estadísticos de frecuencia basados en datos históricos. Merece indicarse entonces que la existencia de técnicas que lidian con la falta de estacionariedad de las series tratadas constituye un hecho ya consagrado a nivel internacional, observándose innumerables muestras en la literatura científica. Cabe acotar, a su vez, que la conveniencia del análisis estadístico basado sobre datos históricos (y antiguos) es ampliamente reconocida en las más prestigiosas revistas científicas internacionales. El valor de las informaciones históricas en el empleo de series estadísticas anuales ha sido reconocido, entre otros, en los trabajos de Leese (1973); Condie y Lee (1982); Condie (1986); Stedinger y Cohn (1986, 1987); Cohn y Stedinger (1987); Jin y Stedinger (1989); Francés, Salas y Boes (1994) y Martins y Stedinger (2001a,b).

En efecto, cuanto más se ahonda en las informaciones históricas más se puede llegar a contribuir para la definición objetiva de la existencia a nivel local o regional de un cambio climático. En síntesis, la importancia de recabar todas las informaciones que se derivan del análisis de los datos históricos es indiscutible, aún para tratar con el cambio climático.

También es cuestionable la afirmación (pág. 160):

“La transformación de una crecida lenta en un cauce fluvial, en una crecida violenta y destructiva es un hecho que puede ocurrir dentro del contexto de ciclo húmedo y cambio climático previamente detallados”.

En efecto, en cuencas pequeñas e intermedias (la cuenca del río Salado puede ser considerada entre estas últimas), existen otros aspectos adicionales que son probadamente influyentes en las variaciones de las características de las ondas de crecidas, pudiendo influir en períodos de tiempo relativamente cortos (más cortos que el cambio climático). Ejemplo de ellos son el cambio en el uso del suelo en áreas rurales y urbanas, el significativo aumento de la densidad de drenaje, la densificación de la red vial, etc. Por lo tanto, la afirmación citada previamente, cuando desglosada de la consideración de la problemática de las escalas hidrológicas, puede conducir a una interpretación sesgada, fundamentalmente para el caso de una cuenca hidrológica con el tamaño de la cuenca santafesina del río Salado. La consideración de los efectos de escala en hidrología también es un aspecto ampliamente abordado por la literatura científica internacional.

Acerca de la Caracterización Geomorfológica Zonal:

En lo que respecta a la caracterización geomorfológica e hidrogeológica zonal, la misma reúne una serie de descripciones que resultan de interés para la comprensión de aspectos de la respuesta hidrológica de la cuenca bajo estudio. Se destaca el hecho de mencionarse la existencia, a escala geológica, de períodos más húmedos y más secos en relación al escenario actual:

“De estas evidencias puede deducirse que el río corrió por la actual llanura aluvial bajo tres regímenes hidrológicos distintos: el más antiguo con mucho agua, después en condiciones más secas que las actuales (cauce fino, curvas angulosas) y finalmente en las condiciones presentes”.

De ellos se derivan varias de las características actuales de la red de drenaje del río Salado:

- un cauce menor que presenta una tendencia a la estabilidad tanto en sus secciones transversales (naturales) como en su desarrollo planimétrico (las modificaciones mayores se encuentran en coincidencia con el estrangulamiento de su sección de paso por parte de las luces libres de los puentes);
- un amplio cauce mayor (o planicie de inundación) del río, capaz de conducir crecidas ordinarias y extraordinarias de magnitudes aún superiores con las observadas en la actualidad.

Al citarse aspecto referidos a las pendientes de la cuenca del río Salado los autores reproducen el siguiente texto (pág. 98):

“De acuerdo a lo referido anteriormente sobre control estructural, las pendientes regionales (y aún las locales en ciertos casos) son debidas a fenómenos tectónicos, principalmente de basculamiento”,

Surge así la inquietud acerca de la posibilidad de la región de los Bajos constituirse en un área actualmente basculada que otrora podría haber justificado, junto a la ocurrencia de un período geológico más húmedo que el actual, la importante magnitud que presenta actualmente la gran planicie de inundación del río Salado. La importancia de la magnitud de la misma radica en el hecho de no existir en la historia contemporánea antecedentes de desbordes del río Salado más allá de los límites generales de su propia planicie de inundación natural.

Acerca de la Modelación Hidráulica mediante Modelo Matemático:

Uno de los ítems centrales del Informe Final lo constituye la modelación hidrodinámica de la crecida 2003, para lo cual los autores emplean el modelo unidimensional MIKE 11[®]. Este modelo fue preparado por el Danish Hydraulic Institute (1995), siendo actualmente uno de los más reconocidos en su tipo a nivel internacional, con probada capacidad de simulación. El Informe Final presenta una reseña acerca de las ecuaciones básicas empleadas por el modelo (ecuaciones de Saint Venant), así como del sistema numérico empleado para resolver dichas ecuaciones diferenciales. El empleo de este modelo se considera adecuado, tanto en lo que respecta a las situaciones a analizar, como en relación a los datos y a los tiempos de desarrollo disponibles.

En lo que respecta al modelo del río Salado, el modelo hidrodinámico fue desarrollado para el tramo RP6-Cuatro Bocas, es decir, correspondiendo al tramo inferior del río Salado. Tal como es práctica habitual en este tipo de simulaciones, se empleó un período de datos para producir el ajuste (o calibración) del modelo y otro período para verificar el funcionamiento del mismo. No se ha podido establecer con certeza el período de ajuste, ya que la presencia de errores de transcripción impide discernir en el Informe Final entre ambos períodos. No obstante ello, se observa en las figuras un buen ajuste del modelo, permitiendo reproducir de manera adecuada la mayoría de las características de la serie de niveles observada en la sección RP70 del río Salado.

En esta parte del Informe los autores analizan en relación a la crecida del año 2003:

- el efecto de la ampliación del puente de la Autopista;
- el efecto de las condiciones hidráulicas sin el repunte observado del 27 de abril al 1° de mayo;
- la combinación de la crecida del año 2003 con los niveles del río Paraná del año 1998.

En cuanto a los niveles del agua en las proximidades del Hipódromo (progresiva del modelo 8.856 m) los autores concluyen que:

- de haber estado cerrada la brecha en el Tramo II de la Defensa Oeste, y de haberse mantenido constante las restantes variables involucradas, la crecida del año 2003 habría producido una elevación del agua a cota 16,85 m, es decir, prácticamente 1 m superior a la correspondiente elevación de la crecida del año 1998 (esta última estimada en 15,86 m);
- de haberse producido una ampliación de la luz del puente de la AU01 Santa Fe-Rosario de 155 m a 422,5 m, se habría producido una disminución del efecto de remanso provocado por este, materializándose en una reducción de 0,52 m en los niveles del río Salado aguas arriba del mismo. Por lo tanto, el nivel máximo habría sido en tal caso de 16,33 m;

En lo que respecta al funcionamiento de las obras durante la crecida del año 2003, se destaca que los autores consideran “*llamativo*” el hecho de haberse reconstruido el puente de la Autopista AU01 Sta. Fe-Rosario con la misma luz libre que el mismo presentada en ocasión de su caída durante la crecida del año 1973. Del mismo modo, reconociendo la influencia de la obra de Defensa Oeste sobre el escurrimiento, los autores indican:

“La construcción de los Tramos I y II de la defensa de Santa Fe, luego de la crecida del año 1992 del río Paraná, generó una contracción de entre 500 y 1000 m en el valle de inundación del río Salado y permitió una rápida y precaria urbanización de la zona protegida, que presenta cotas topográficas bajas, con el consiguiente riesgo hídrico para los asentamientos humanos”.

Sin embargo, el Informe Final no presenta estimaciones cuantitativas acerca de la elevación del nivel que esta contracción produce sobre los niveles del río Salado. Se estima que este aspecto debería haber merecido la atención de los autores, dada la necesidad de contarse con elementos cuantitativos objetivos que ayuden a comprender todos los aspectos del problema. La disponibilidad y versatilidad de la herramienta computacional preparada para la oportunidad podría haber permitido responder estas cuestiones.

Otro aspecto que merece un comentario es la afirmación que los autores realizan en pág. 140:

“En resumen, la única manera en que se hubiese evitado el ingreso de agua a la ciudad de Santa Fe, es si hubiera estado ejecutado el tercer tramo de la defensa Oeste que se encontraba proyectado”.

Del análisis del texto se desprende que esta afirmación se basaría en el hecho de los niveles máximos modelados no superar en ninguna de las circunstancias analizadas la cota 17,75 m. Esta última corresponde al coronamiento del tramo III de la Defensa Oeste, según indicado en el Informe (págs. 18 y 19), como también así lo indica el Informe de la FICH-UNL al referirse al Anteproyecto del mismo.

La aclaración efectuada posteriormente por los autores en oportunidad de las consultas efectuadas por el MAH despeja toda duda a este respecto.

Acerca de la Identificación de Factores Concurrentes a la Crecida del Año 2003:

En relación a este particular los autores indican los siguientes factores (pág. 139):

- *Precipitaciones muy superiores a las normales tanto en la cuenca del río Calchaquí, como en las subcuencas de los arroyos afluentes al Salado*
- *Estado de saturación de suelos en la cuenca*
- *Crecida excepcional del río Salado, con aportes de cuencas muy próximas a la ciudad de Santa Fe*
- *Efecto de desnivel y remanso provocado por la escasa luz del puente*
- *Ingreso de agua por el extremo de la defensa ejecutada y rotura del extremo del terraplén.*

Se estima que en relación a los factores netamente hidráulicos faltó considerar:

- *Fuerte contracción del valle de inundación del río Salado en todo el sector del tramo inferior frente a la ciudad de Santa Fe, provocada por la construcción de la obra de Defensa Oeste;*
- *Ejecución de sucesivas obras hidráulicas de drenaje en las subcuencas de aporte del río, sin el consiguiente análisis global de los efectos hidrológicos-hidráulicos que las mismas producirían hacia aguas abajo.*

Acerca del Análisis de Riesgos y Previsibilidad del Fenómeno:

En lo que respecta al análisis de riesgos y previsibilidad del fenómeno del año 2003, los autores dividen su tratamiento en partes principales: (i) estado del conocimiento a principios del año 2003; (ii) estudios y mapas de riesgo de inundaciones antecedentes; (iii) análisis de pronósticos emitidos. Los autores destinan 13 páginas del Informe Final al tratamiento de estos ítems, con un marcado hincapié hacia el primer punto arriba indicado.

Entre los aspectos indicados se cita las dificultades que existe en Argentina en relación al libre acceso a la información meteorológica y climática del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Los autores ponen como ejemplo, las facilidades que en este sentido existen en el vecino Brasil, hecho que viabiliza un mayor estudio de los fenómenos climáticos y, en particular, de las precipitaciones extremas. Esta observación es plenamente compartida por este perito.

En lo restante del punto analizado los autores dan un sustancial peso al cambio climático, ya que al analizar aspectos tales como: la falta de herramientas técnicas, la demora en la adecuación al cambio climático observado y el insuficiente conocimiento científico, todo el material se refiere casi exclusivamente al tópico apuntado. También destinan más de una página del Informe Final a describir el proceso de establecimiento científico y su difusión, dando indicaciones de los pasos que se siguen antes de la publicación de resultados de estudios en revistas científicas de reconocido nivel internacional.

Por tratarse de un Informe referido a los “*Aspectos Hidrológicos e Hidráulicos de la Crecida del Río Salado de Abril de 2003*”, llama la atención el espacio dedicado a aspectos

complementarios como el citado en último término, el que no conlleva a brindarle información sustancial al lector. Lo apuntado se maximiza cuando se observa que en relación a los resultados del modelo hidrodinámico (uno de los aspectos centrales del estudio), el texto es absolutamente escueto. Esta falta de uniformidad produce un desbalance que refleja cierto desequilibrio en la presentación de todos los aspectos técnicos del problema.

Acerca de la Toma de Decisiones:

En lo que respecta al punto de vista del tomador de decisión los autores indican (pág. 149):

“El funcionario encargado de la toma de decisiones, que generalmente forma, o puede formar parte de la comunidad profesional, no ha estado recibiendo de ella, informes técnicos con premisas claras en cuanto al análisis de riesgo, por la citada dificultad de que las técnicas clásicas de análisis están en crisis, y no se han desarrollado nuevas herramientas de análisis por falta de consenso acerca de las causas últimas del cambio observado en el régimen hidrológico”.

En relación a este particular, no se comparte la afirmación por la cual la supuesta crisis de las técnicas estadísticas de análisis, denominadas “clásicas” en el Informe Final, serían la base por la cual los funcionarios tomadores de decisión frecuentemente no reciben premisas técnicas claras para llevar adelante su función. Este último hecho puede darse, en realidad, por causas más directas y concretas tales como: falta de capacidad del funcionario para lograr una selección adecuada de asesores técnicos competentes; falta de capacidad del funcionario para comprender los informes técnicos, falta de formación de los profesionales intervinientes, etc.

En relación a este mismo aspecto los autores señalan (pág. 150):

“En este contexto, se deben considerar por un lado las herramientas con que se contaba para la toma de decisiones. Cabe aclarar que la provincia no cuenta con un sistema de alerta temprana, a tiempo real, y tampoco con un modelo general de funcionamiento de la cuenca suficientemente ajustado o verificado con el historial de la misma”.

Aunque la afirmación de los autores es correcta, merece destacarse que las falencias indicadas no impedirían que con base en la valoración de todas las informaciones disponibles (partes meteorológicas, pronósticos hidrológicos globales, informaciones periodísticas, etc.) se estimara la ocurrencia de una condición crítica en el tramo inferior del río Salado, tal como se cita en el Resumen Ejecutivo de esta pericia.

El Informe Final incluye también un relato sintético de las principales acciones seguidas día a día por el gobierno provincial y/o municipal. Al respecto se cita:

- *“Domingo 27 de Abril: Por la tarde comienzan problemas en el puente de la ruta provincial 4 sobre el río Salado, en las cercanías de Manucho. El Gobernador y miembros del C.E.H. recorren la zona.*

- *Lunes 28 de Abril: Por la mañana comienzan los trabajos para cerrar el ingreso de agua en la brecha del Hipódromo. Por la tarde se reúne el C.E.H. para analizar la situación. Los datos de la ruta provincial 70 recibidos indicaban que la crecida había superado todos los registros. La altura había alcanzado los 7,48 m en Ruta Prov. N° 70, estimándose que en dos días estaría el pico en la ciudad de Santa Fe. (Acta N° 29 del día 28 de abril de 2003)."*

Lamentablemente no se incluye de manera explícita en el texto algunas informaciones derivadas del estudio hidráulico-hidrodinámico que podrían dar cuenta de la celeridad con que algunas acciones fundamentales fueron tomadas.

Acerca del Análisis de Eventos Similares en Otras Partes del Mundo:

El Informe Final analizado presenta datos acerca de inundaciones sufridas en Bangladesh, Japón, EEUU, Francia y Alemania, indicando las consecuencias catastróficas que muchas de ellas dejaron a su paso. Se estima que la inclusión de este tipo de material podría aportar un elemento complementario potencialmente interesante, permitiendo calibrar con juicio técnico objetivo algunos de los aspectos de la crecida del año 2003, como así también algunas de las acciones seguidas para lidiar con la inundación.

Sin embargo, el material presentado lamentablemente no reúne las condiciones técnicas básicas para cumplir con dicho cometido. En efecto, el mismo consiste en una sucesión de datos no adecuadamente contextualizados referidos a cada uno de los casos analizados. No se incluyen informaciones básicas que permitan analizar desde un punto de vista técnico y objetivo la similaridad o diferencia de cada caso indicado con aquel objeto del estudio.

Acerca de las Conclusiones del Informe Final:

En lo que respecta a las conclusiones, las observaciones técnicas son las siguientes:

- a) Se señala que el aumento de caudales en los últimos años fue más notorio que en otros ríos. Sin embargo, los autores no enuncian cuál (o cuáles) podría(n) ser la(s) causa(s) que produjeron ese comportamiento diferencial de la serie de caudales del río Salado. Indirectamente, dan por sentada así la buena calidad de los datos hidrológicos de la sección RP70. Cabe consignar que al respecto no se observa a lo largo del Informe referencias acerca de la posibilidad de la existencia de tendenciosidad de las mediciones por efecto del remanso temporal del río Paraná.
- b) Del mismo modo, se analiza la variación producida en la estimación de la recurrencia del caudal pico de la crecida de abril de 2003 con base en registros anteriores y posteriores a la misma. Sin embargo, no se enuncian los posibles caminos a emplear con el objeto de corroborar dicho cambio (por ejemplo, revisión de los métodos empleados para el ajuste de las distribuciones estadísticas empleadas, revisión de otras distribuciones estadísticas, extensión de las series mediante la incorporación de marcas históricas, etc.).
- c) Se esgrime el rol preponderante que el cambio climático observado por los científicos dedicados a esa área del conocimiento tuvo sobre el desenlace de la crecida del río Salado de abril de 2003 y la consecuente inundación de la ciudad de Santa Fe. Se

esgrime como otro elemento preponderante para dicho desenlace el desconocimiento (o la falta de credibilidad) de la mayoría de los técnicos que actúan en la materia en relación al cambio climático. Frente a las evidencias de la existencia de otros factores tan relevantes (o más) que éstos para explicar el problema, se estima que las afirmaciones vertidas derivan de un análisis técnico incompleto.

3. Conclusiones

En la opinión de este perito hidráulico el material bajo análisis consiste, en términos prácticos, en la conjunción de:

- (i) diversos aspectos recopilados de trabajos anteriores, con especial mención al informe CRL-INA(1986);
- (ii) resultados de una modelación matemática computacional basada en un modelo hidráulico de probada capacidad de simulación;
- (iii) diversos relatos referidos al cambio climático, el cual es tratado con marcado ahínco;
- (iv) otros aspectos colaterales, algunos de ellos tratados con menor dedicación que el previamente indicado.

Entre los aspectos positivos más destacados del trabajo cabe señalar los estudios de modelación hidráulica computacional. El modelo matemático empleado es de reconocida calidad y apropiado para los fines perseguidos. El modo de empleo del mismo también es considerado adecuado.

Los resultados de la modelación hidráulica realizada cumplen con los indispensables requisitos de calidad que permiten su consideración para una mejor y más amplia interpretación del fenómeno hidráulico ocurrido. Los resultados del modelo hidrodinámico permiten analizar diversos escenarios, entre los que se cuentan el real, ocurrido en abril/mayo del año 2003, y otros hipotéticos derivados de la suposición de: (a) modificaciones en la luz del puente de la Autopista AU01 Sta. Fe-Rosario y (b) de distintos niveles del río Paraná.

Pese a ello, se observa que el texto del Informe Final condensado a lo largo de los 12 capítulos muestra falta de continuidad en el tratamiento de algunos aspectos. Detalles de éstas y otras falencias del Informe se detallan dentro del material previamente presentado, el que da sustento a la justificación de la opinión de este perito.

En lo que respecta a los estudios hidrológicos se observa que, pese a consistir en un estudio de aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida de abril de 2003, el Informe no incluye un tratamiento hidrológico pormenorizado actualizado al año 2003. En tal sentido, se destaca el hecho de constituir este Informe una recopilación de estudios hidrológicos anteriores, la mayoría de ellos realizados en el período 1986-1998 (con énfasis en el trabajo CRL-INA, 1986). Por otra parte, también se destaca como observable el hecho de no haberse identificado ni analizado a fondo todas las posibles causas de origen hidrológico-hidráulico relacionadas con el problema.

El Informe se caracteriza también por presentar un tratamiento desbalanceado del problema, donde prima la decisión de los autores por asignar al cambio climático un rol preponderante en la definición de la crecida de abril de 2003. Frente a las evidencias de la existencia de otros factores tan relevantes (o más) que aquel para explicar la crecida y posterior inundación del año 2003, se concluye que las afirmaciones vertidas provienen de un análisis técnico incompleto. Se estima que ello resulta contraproducente frente a la situación imperante a partir de los efectos de la inundación de la ciudad de Santa Fe en abril/mayo del 2003, la cual exige contar con materiales adecuadamente equilibrados en todos sus aspectos.

Opinión del Perito Jorge Adolfo Maza:

Luego de un análisis del estudio "*Aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del Río Salado - Abril 2003*" este perito no concuerda con la opinión de las páginas del Capítulo 9:

En la pág. 142 establece "*Por otra parte, las estaciones de observación meteorológica de la red oficial son muy pocas y no existe un esfuerzo para coordinar otros registros valiosos que se toman en el país, ya sea de otros ámbitos oficiales o del sector privado*". Se considera que la información pluviométrica que provee la Dirección de Comunicaciones Provincial es abundante, cubre la cuenca y tiene un retraso de un día en la disposición de la información mientras que la cuenca tiene un tiempo de concentración del orden de 5 días.

Pone un gran énfasis en la falta de información en la comunidad científica sobre las implicancias del Cambio Global Climático (CGC), siendo que en la UNL-FICH se viene estudiando y publicando sobre el tema hace varios años.

Además este perito considera que si bien el CGC tiene abundantes evidencias de manifestación, justamente el tema de la incidencia en las crecidas fluviales extremas es tíbiamente tratado en la comunidad científica internacional debido a que uno de los problemas de atribuir una relación causal entre tendencia de crecidas y CGC es que la dinámica de las crecidas puede tener múltiples orígenes ya que están fuertemente afectadas por un rango de cambios ambientales (García, N.; W. M. Vargas; M.V. Venencio, 2002). En especial en la cuenca del Río Salado es ampliamente conocida la acción antrópica manifestada por las canalizaciones de drenaje en el sector agrícola, lo cual disminuye la infiltración y el tiempo de concentración incidiendo directamente en el aumento de los volúmenes de escurrimiento y de los caudales máximos de las crecidas respectivamente.

Los modelos de circulación global existentes producen resultados sobre el cambio de la temperatura y de la precipitación en forma de promedios lo que seguramente se traduce en un cambio en la climatología, pero aún no puede predecirse con certeza que el CGC puede actualmente ser la causa de nuevas y más importantes crecidas en la región ya que las crecidas tienen su origen en situaciones meteorológicas de escala temporal de días. Es prueba de ello que casi no existen en el ámbito científico internacional propuestas metodológicas de generación de crecidas de diseño de origen pluvial que contemplen la incidencia del CGC.

Este perito no reconoce que exista una gran demora entre la difusión del conocimiento científico y la utilización técnica de esos conocimientos en el ámbito de los recursos hídricos ya que, por ejemplo la gran usina local de divulgación de los conocimientos en este ámbito son los Congresos Nacionales del Agua, que se realizan con una frecuencia de dos años con una amplia participación de profesionales de Santa Fe y del resto del país.

No se comparte la opinión de que debido a que “*las técnicas clásicas de análisis están en crisis*” a los tomadores de decisión no le llegan “*informes técnicos con premisas claras*”. Las técnicas actuales de diseño en Argentina son las que usualmente se utilizan en los países desarrollados y a sus tomadores de decisión les llegan informes técnicos sin problema alguno. Si a los tomadores de decisión de la Pcia. de Santa Fe no le llegan informes técnicos con premisas claras es porque seguramente se ha debido a otras causas como puede ser una equívoca elección del nivel de riesgo de colapso de las obras a diseñar y su consecuente período de retorno de diseño.

Este perito no coincide con el último párrafo del Capítulo 9 que expresa “*...pero no conducen a tomar acciones concretas hasta tanto no se desarrollen los hechos, que para el caso en estudio fueron un clásico ejemplo de tormenta súbita, con dos epicentros en puntos clave de la cuenca, uno el encargado de dar un amplio caudal de base y el otro suficientemente cercano como para empuntar el hidrograma de forma violenta, dejando muy poco tiempo para la reacción*” ya que como se expresa en el Anexo VIII, el pronóstico rudimentario realizado por esta pericia, arroja valores que son alarmantes con 4 días de anticipación, tiempo suficiente para decidir cualquier acción en la emergencia. Las precipitaciones de los días 23 al 25 de abril de 2003 (se podrían denominar súbitas a las de los días 28 y 29 de abril de 2003) ya generaban una crecida con valores de caudales de los cuales se podía inferir que se iba a producir inundación en la ciudad de Santa Fe. Es decir que física y técnicamente era posible predecir con suficiente tiempo lo que iba a suceder, sin embargo esto era impracticable debido a la falta de organización y estructura necesaria en ese sentido.

En el *Capítulo 12. Conclusiones*, se menciona en su último apartado “*Los pronósticos previos recibidos son de utilidad para que los responsables de tomar decisiones se mantengan atentos al desarrollo de los sucesos, pero no conducen a tomar acciones concretas hasta tanto no se desarrollen los hechos, que para el caso en estudio fueron un clásico ejemplo de tormenta súbita, con dos epicentros en puntos clave de la cuenca, uno el encargado de dar un amplio caudal de base (río Calchaquí) y el otro suficientemente cercano como para empuntar el hidrograma de forma violenta (afluentes del río Salado cercanos a la ciudad de Santa Fe), dejando un tiempo insuficiente para la reacción efectiva con obras de defensa complementarias.*” Igualmente se considera que las precipitaciones de los días 23 a 25 de abril no fueron súbitas, desde el momento que produjeron una crecida que era el 84 % de la que existió finalmente, y cuyos datos se conocieron con 4 días de anticipación, luego el tiempo hubiera sido suficiente para la reacción efectiva de los responsables de tomar decisiones y evaluar si había tiempo para la toma de medidas estructurales (por ej. construcción de defensa con bolsas de arena) y no-estructurales (por ej. evacuación).

En el apartado “Consideraciones finales: El caso Santa Fe como punto de inflexión”, se vuelven a reafirmar los conceptos sobre la incidencia del cambio climático y la necesidad de cambiar los criterios de dimensionamiento de las obras. Estos temas ya han sido tratados en los párrafos anteriores haciendo énfasis en que no se coincide con tales conceptos.

A pesar de que existen omisiones sobre la descripción de los procesos físicos involucrados en la generación de la crecida de 2003, el resto del informe en cuestión es inobjetable técnicamente en la medida que realiza una recopilación de la información existente sobre la caracterización climática, hidrológica y geomorfológica de la cuenca del Río Salado y en cuanto a la simulación hidrodinámica de la crecida de 2003.

PREGUNTA N°17

Para que formulen observaciones y/u objeciones, si las hubiera, al trabajo que fuera presentado al gobierno de Santa Fe por parte de la CEPAL.-

1. Introducción

El material bajo análisis se presenta en un Informe compuesto por un (1) volumen que posee 88 páginas. El material se encuentra organizado en subítems, cuyos títulos se indican a continuación:

- (i) Resumen y Conclusiones
- (ii) Presentación
 - 1. Descripción del Evento
 - 2. Población, Área Afectada y Acciones Emprendidas para Enfrentar la Emergencia
 - 3. Impacto en los Sectores Sociales
 - 4. Daños en la Infraestructura
 - 5. Pérdidas en los Sectores Económicos
 - 6. Efectos Ambientales
 - 7. Recapitulación de Daños
 - 8. Efectos Macroeconómicos
 - 9. Estrategia y Prioridades para la Reconstrucción

El Informe posee, además, un *Addendum* referido a 27 perfiles de proyectos. El texto referido a este tópico se extiende por 40 páginas. Cabe indicar que pese a que el índice da cuenta del ítem resumen y conclusiones, el mismo no fue encontrado dentro de la versión revisada.

De acuerdo a lo que se desprende de la Presentación (pág. 3), el Informe contiene los resultados de una evaluación global, económico-social y ambiental del evento ocurrido en la Provincia de Santa Fe como apoyo a la formulación de la estrategia de recuperación y reconstrucción a ser realizada por CEPAL. Este Informe se encuentra entre las acciones acordadas por el Organismo con el gobierno de la Provincia de Santa Fe.

2. Evaluación Técnica

El material presentado se encuentra bien organizado, abarcando diversos tópicos característicos de las evaluaciones de impactos económicos, sociales y ambientales relacionados con la ocurrencia de desastres asociados a causas naturales y/o antrópicas.

De la lectura del texto se desprende que el énfasis del trabajo se relaciona con las evaluaciones de impacto inmediatamente arriba indicadas.

Dentro de dicho contexto la descripción del evento hidrometeorológico e hidrológico ocurrido ocupa un sintético capítulo inicial, el cual se extiende por siete (7) páginas. Aunque en el mismo se incluyen algunas estimaciones tanto de carácter cuali como cuantitativo, se estima que el espíritu del capítulo es fuertemente descriptivo al no ahondar en ninguna

consideración técnica de tipo hidrológico-hidráulica de peso. Esta consideración se refuerza al observar que la misión profesional que llevó a cabo las tareas cuyos resultados son relatados en el Informe (información indicada en pág. 3), no incluyó técnicos y/o funcionarios orientados a las áreas de ingeniería hidrológica y/o hidráulica.

Pese a ello, existen dos aspectos citados dentro de la descripción del evento que merecen observarse. A continuación se abordan los mismos.

a) Vulnerabilidad Estructural del Sector Oeste de la Ciudad de Santa Fe:

Al reconocerse la vulnerabilidad del sector oeste de la ciudad de Santa Fe asociada a causas netamente estructurales tales como la inadecuada expansión urbana, el estrechamiento producido por el puente de la autopista Sta. Fe-Rosario y las falencias de la infraestructura de protección, los autores indican (pág. 5):

“Las obras de contención y defensa de la ciudad en esta ocasión represaron el agua al teniendo como consecuencia que el nivel del agua en el momento culminante era más alto al interior de la ciudad que en el río mismo. Las estaciones de bombeo existentes fueron ampliamente rebasadas en su capacidad y tuvo que recurrirse a dinamitar los diques de contención a fin de que el agua fluyera de regreso hacia el río. Ello dejó expuesta la elevada vulnerabilidad existente que se asocia tanto a las características de la infraestructura de protección como al hecho de que se había ido expandiendo la ciudad hacia zonas de bajura en el cauce de crecimiento del río”.

...

(pág. 8):

“La ciudad de Santa Fe está protegida contra las inundaciones del río Salado mediante el terraplén de la autopista de Circunvalación Oeste cuya altura es de 9 metros en promedio. Sin embargo, las aguas de la crecida penetraron en la ciudad por el extremo noroccidental de la vía de circunvalación, donde existe una discontinuidad al no haberse concluido el terraplén de defensa. La presencia del estrechamiento del cauce del río y de la planicie natural de inundación que se produjo con la construcción del puente de la autopista que une a Rosario con Santa Fe, amplió el efecto de remanso en el curso del río Salado situado aguas arriba, elevando todavía más el nivel fluviométrico”.

...

(pág. 10):

“No obstante lo anterior, que demuestra la excepcionalidad de la crecida de fines de abril, cabe tener en cuenta la factibilidad de que ésta hubiese sido menor si no se hubiese construido el puente con luz reducida en la autopista Santa Fe-Rosario”.

Si bien las apreciaciones realizadas por los autores son de carácter cualitativo, las mismas dan cuenta de los principales factores estructurales que contribuyeron a la inundación de la ciudad de Santa Fe.

b) Análisis de las posibles causas de la inundación:

En relación a este tópico, se observa la afirmación vertida en pág. 10:

“Un análisis de la frecuencia con que ocurren las crecidas máximas de dicho río, sitúa la del 2003 en un período de retorno de una vez en poco más de 200 años (Véase el gráfico 4)”.

La objeción en relación a esta afirmación radica en el hecho de los autores de no indicar ninguno de los elementos ni pasos metodológicos que condujeron a obtener tal resultado. Entre los elementos que se entiende deberían haber sido citados se cuenta: (i) datos considerados para la realización del estudio estadístico de frecuencia; (ii) metodología de análisis empleada (modelo probabilístico considerado; método de ajuste de parámetros, etc.).

Por su parte, al referenciar el gráfico 4 los autores citan el trabajo del Centro Regional Litoral (CRL) del Instituto Nacional del Agua (INA) (1998) titulado: *“Redimensionamiento hidráulico puente sobre río Salado en autopista Santa Fe”*. Se observa que de la revisión de dicho estudio no se desprende la conclusión reproducida más arriba, referida a la frecuencia de la crecida del año 2003. Por el contrario, del mismo se deduce que se estimaba que dicha crecida tendría un tiempo de recurrencia o retorno del orden de 500 años. Al respecto esta pericia ha determinado que el tiempo de retorno de la crecida de 2003 es de 430 años.

En lo que respecta al material presentado en las restantes secciones del Informe, el mismo se refiere a la indicación de acciones globales emprendidas para enfrentar la emergencia y diversas evaluaciones de los impactos provocados sobre los sectores sociales, económicos, de infraestructura, etc. Se entiende que en este sentido el Informe cumple adecuadamente con el objeto de brindar los resultados de la misión de evaluación organizada por la CEPAL. Por lo tanto, no se encuentran objeciones u observaciones a dicho material.