

RESUMEN EJECUTIVO

INDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	3
2 ASPECTOS ESTRUCTURALES QUE GENERAN LA VULNERABILIDAD DE LA CIUDAD DE SANTA FE.....	3
2.1 Acciones Antrópicas en la Cuenca (Anexo VII).....	3
2.2 Crecimiento y Planificación Urbana (Anexo I).....	5
2.3 Obras de Infraestructura (Anexo II).....	7
3 ASPECTOS NO ESTRUCTURALES QUE MITIGARIAN LA VULNERABILIDAD DE LA CIUDAD DE SANTA FE	9
3.1 Sistema de Alerta Hidrológica (Anexo VIII).....	9
3.2 Plan de Contingencia (Anexo III).....	10
3.3 Legislación (Anexo VII).....	12
4 DESCRIPCIÓN DE LA CRECIDA DE 2003	13
4.1 Aspectos de la Dinámica Hídrica (Anexo V).....	13
4.2 Causas Hidrológicas (Anexos IV, VIII y VI).....	14
4.3 Aspectos Hidráulicos (Anexo XI).....	16
5 DESCRIPCIÓN DE LA INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE SANTA FE (ANEXO XII)	17
6 CONSIDERACIONES GENEALES	19
6.1 Magnitud Absoluta y Relativa de la Crecida (Anexos IX y X).....	19
6.2 Causas Estructurales de la Inundación.....	20
6.3 Factibilidad Técnica de Medidas No Estructurales y Estructurales en la Emergencia.....	22
6.4 Hipótesis Sobre Medidas Estructurales y Acciones en la Emergencia	22
6.5 Consideraciones Sobre el Proceso de Inundación de la Ciudad de Santa Fe	25
7 CONCLUSIONES	27

1 INTRODUCCIÓN

Debido a complejas combinaciones de factores hidrometeorológicos en abril-mayo de 2003 se produjo una crecida de gran magnitud en el Río Salado santafesino que inundó una gran porción de la ciudad de Santa Fe produciendo la pérdida de vidas humanas, daños materiales cuantiosos y una secuela de perjuicios intangibles que, aún actualmente, perduran.

Esta pericia hidráulica fue encomendada por el Juzgado de Instrucción Penal de la 7ma. Nominación del Poder Judicial de la Provincia de Santa Fe en el marco del Expediente N° 1341/2003 “Fiscal N° 2 s/ Req. de Instrucción en relación denuncia de Zanutigh Ana Isabel y otros..” con el objetivo de contestar a 17 preguntas formuladas por el Sr. Juez, 4 formuladas por el Sr. Fiscal y 5 por el Actor Civil.

Tales preguntas están dirigidas a esclarecer distintos aspectos relativos a la emergencia suscitada y las causas por las que se produjo la inundación de la ciudad de Santa Fe.

Para responder a las preguntas mencionadas esta pericia realizó una serie de actividades que condujeron a resultados que se detallan en este Resumen Ejecutivo y en los 15 anexos adjuntos. A continuación se abordan la descripción de los aspectos estructurales y no estructurales que generan la vulnerabilidad hídrica de la ciudad de Santa Fe, como así también la descripción de la crecida y la inundación ocurrida en abril/mayo de 2003; igualmente se valoran tanto las causas que dieron origen a las mismas como las acciones que se tomaron o debieran haberse tomado durante la emergencia.

2 ASPECTOS ESTRUCTURALES QUE GENERAN LA VULNERABILIDAD DE LA CIUDAD DE SANTA FE

A continuación se describen las acciones antrópicas que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo tanto en la cuenca del río Salado como en su curso inferior y en el ejido urbano de la ciudad de Santa Fe. Todas estas acciones inciden directamente en la vulnerabilidad hídrica de la ciudad.

2.1 Acciones Antrópicas en la Cuenca (Anexo VII)

Las consecuencias de una acción voluntaria o involuntaria por parte del hombre sobre el ciclo hidrológico 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.

El análisis se basó en los resultados de un modelo matemático hidrológico. Para ello fueron supuestas dos tipos básicos de acciones antrópicas: (i) las efectuadas sobre las áreas de aporte a la red actualmente existente y (ii) las efectuadas sobre la propia red de drenaje de la cuenca.

Se observó que las mejoras efectuadas sobre las áreas de aporte a la red, tendientes a mejorar las condiciones de escurrimiento del agua hacia los canales existentes (aumento de secciones de pequeños canales y conductos urbanos, ejecución de nuevos canales, reducción de la rugosidad general de los mismos, etc.), provocan modificaciones en las características del escurrimiento concentrado en la red.

Estas modificaciones se traducen en un importante impacto cuando la red de drenaje localizada aguas abajo del sector de materialización de aquellas acciones posee suficiente capacidad de conducción para el traslado de los caudales generados. El impacto hidrológico radica en un aumento de los caudales máximos de las crecidas y en una reducción de sus tiempos de llegada a la salida de la cuenca.

Por el contrario, si la red de drenaje de aguas abajo no posee capacidad de conducción suficiente, el impacto hidrológico de las acciones antrópicas realizadas se resuelve dentro de la cuenca (aumento de la celeridad de la onda escurrida, inundaciones internas, etc.), sin traducirse en un efecto notorio a la salida de la cuenca.

Se observó, a su vez, que el nivel de impacto provocado por las intervenciones ejecutadas sobre la propia red de drenaje existente depende tanto de la magnitud de las mismas como del sector de la cuenca de su materialización. Del mismo modo que señalado anteriormente, la transferencia o no del impacto a la salida de la cuenca depende de la capacidad de conducción de la red localizada aguas abajo. A mayor capacidad de esta red existe mayor probabilidad de transferencia de los problemas a la salida de la cuenca.

Una conclusión similar se desprende para el caso del impacto hidrológico provocado por el cambio en el uso del suelo.

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.

2.2 Crecimiento y Planificación Urbana (Anexo I)

La extensión de las fronteras de las ciudades es un hecho natural asociado al desarrollo urbano, que posibilita el ordenamiento e incremento de las relaciones socio-culturales, económicas, legales, etc. Durante períodos económicos críticos este crecimiento tiende a ser desordenado, siendo ello más evidente en sectores periféricos densamente poblados. Esta tendencia, típica en muchos centros urbanos de América Latina, también se registra en Argentina.

Entre otros aspectos, la expansión urbana no planificada conduce a la ocupación desordenada del suelo a través de la proliferación de loteos inadecuados, a la falta de espacio para el manejo eficiente de las aguas (pluviales y/o fluviales) y al aumento de la frecuencia con que se producen inundaciones urbanas. A su vez, estos efectos originan nuevos problemas colaterales multiplicativos, con tendencia a generar una situación compleja que en más de una oportunidad se traduce en situaciones dramáticas.

En los ámbitos municipales las inundaciones urbanas no siempre son relacionadas con la política de ocupación del espacio urbano, hecho que dificulta la formulación de medidas eficaces.

Aunque todas las inundaciones en áreas urbanas parecieran ser similares en algunos de sus aspectos, resulta pertinente distinguir al menos dos tipos básicos de inundaciones que se diferencian en su origen: a) inundaciones ribereñas, b) inundaciones asociadas al aumento indiscriminado de las áreas impermeables. A los fines perseguidos en esta pericia resulta de interés el análisis de las inundaciones ribereñas.

Cabe mencionar que las zonas naturalmente inundables, tales como las áreas próximas a canales y cursos naturales de drenaje, representan áreas de almacenamiento temporario que provocan una regulación natural de los volúmenes escurridos, implicando la reducción de los caudales hacia aguas abajo. En estado natural estas áreas son ocupadas por las aguas durante los períodos de crecidas naturales. Su urbanización trae aparejado dos efectos: (i) el ingreso del agua a las mismas, que constituía un proceso natural, se convierte en una “inundación”; (ii) la reducción de las áreas de almacenamiento por efecto de la urbanización impide la atenuación de los caudales, con consecuencias indeseadas sobre los sectores de aguas abajo.

Otros problemas derivan de las interferencias entre los diversos sistemas que coexisten en el ámbito urbano. Estos conflictos han aumentado en los últimos años como resultado del incremento de las obras de infraestructura básica y complementaria. A menudo se observa cierto descuido en las soluciones, no siendo evaluadas las consecuencias hidráulicas de las alteraciones realizadas, las cuales se ponen en evidencia con posterioridad a la ocurrencia de tormentas y/o crecidas severas.

Las soluciones clásicas referidas a las inundaciones en áreas urbanas tienden a apoyarse exclusivamente en la ejecución de obras de ingeniería. La experiencia nacional e internacional muestra que tales medidas, además de ser costosas, no representan por si solas una solución eficaz y sustentable de los problemas de las inundaciones urbanas.

Existen dos tipos básicos de medidas para lograr el manejo y control de las crecidas: *estructurales* y *no estructurales*. Las medidas estructurales se relacionan con la ejecución de obras tanto en la cuenca hidrográfica como sobre los cursos de agua que actúan de colectores principales del sistema hídrico. Las medidas no estructurales, por su parte, presuponen una convivencia razonable de la población con los problemas derivados de los procesos naturales y así intentan compatibilizar los costos de obras a ejecutarse con los recursos realmente disponibles.

Las tendencias más modernas de urbanización promueven las acciones basadas en una combinación de medidas estructurales y no estructurales para encarar la problemática del drenaje.

En este contexto cabe destacar que hasta fines del siglo XIX la ciudad de Santa Fe mantuvo su expansión urbana en total equilibrio con el río Salado. Como resultado de ello el nivel de percepción de la población acerca de las crecidas del río Salado era prácticamente inexistente.

Las tendencias expansivas más importantes de la ciudad hacia el oeste, en particular sobre la planicie de inundación natural del río Salado, se verificaron durante la primera mitad del siglo XX, más precisamente a partir de 1912 y de 1937. Estas expansiones se realizaron al ritmo de ejecución de terraplenes (ferroviarios y de defensa) localizados sobre la misma. Estas obras transmitieron una falsa sensación de seguridad ante las crecidas naturales del río, tanto a los tomadores de decisión de todos los niveles como a la población en general.

Hasta mediados del siglo XX las crecidas más importantes del río Salado fueron registradas en los años 1886, 1914 y 1946. Sin embargo, ellas no resultaron críticas para la ciudad de Santa Fe en función del trazado que la misma presentaba por entonces.

La ocurrencia de un período relativamente seco, de 59 años de duración (entre 1914 y 1973), contribuyó al descuido de la problemática por parte de autoridades, planificadores y empresarios inmobiliarios. También contribuyó al olvido de la población en general. Como resultado de ello la expansión urbana se caracterizó por la ausencia durante muchos años de medidas municipales tendientes a restringir el loteo de áreas con alto riesgo de inundación.

Inicialmente, algunas áreas de este tipo fueron ocupadas ante la falta de alternativas de la población de baja renta para acceder a lotes más adecuados. Con el tiempo estos barrios fueron transformando su fisonomía, constituyéndose así en importantes sectores de la ciudad. La ejecución de las sucesivas defensas laterales contribuyó a la ocupación, supuestamente temporaria, por parte de la población más carenciada por tratarse de áreas pertenecientes al poder público.

La visión asociada a la solución clásica de las inundaciones en el área urbana basada exclusivamente en la ejecución de obras de ingeniería se arraigó fuertemente hasta el presente.

El conjunto de falencias indicadas condujo a decisiones inapropiadas, tales como, entre otras, la instalación tanto del nuevo Hospital de Niños Dr. Orlando Alassia como de la Estación Transformadora de Energía, en áreas signadas por su alto riesgo hídrico.

El local empleado por la Municipalidad de Santa Fe para el asiento de buena parte de su material de logística pesada (maquinarias, vehículos pesados, etc.), imprescindible para actuar en momentos de emergencias hídricas, tales como la ocurrida en abril/mayo de 2003, ya contaba con antecedentes de inundación desde 1929.

2.3 Obras de Infraestructura (Anexo II)

El progresivo desarrollo de la ciudad hacia el Oeste dio lugar a la materialización de una serie de obras de infraestructura urbana y vial, que actualmente se encuentran emplazadas en el valle aluvial del río Salado.

Estas estructuras, compuestas por obras de arte, obras de defensa, puentes carreteros y puentes ferroviarios, entre otras, modifican en mayor o menor medida, las condiciones de escurrimiento del río en su tramo inferior.

Resulta evidente que el emplazamiento de parte de la propia ciudad dentro del valle de inundación del río aparece como el factor de mayor significación al normal escurrimiento del agua y a las condiciones naturales que presenta el río.

El sector Oeste de la ciudad se extiende sobre una zona que morfológicamente comprende el valle natural de inundación del río. Prueba de ello resultan los alcances de inundaciones históricas, donde los niveles de anegamiento alcanzaron aproximadamente esa zona, en momentos en que no se registraban asentamientos urbanos en la misma.

La necesidad de proteger esta parte del casco urbano frente a nuevos procesos de crecidas, dio lugar a la materialización de obras de defensa longitudinales que abarcan la zona sur y oeste de la ciudad.

Asimismo, el continuo crecimiento urbanístico dio lugar a la necesidad de contar con obras de vinculación que permitieran salvar el límite natural que introduce el propio río, dando lugar a la construcción de diversos puentes, tanto carreteros como ferroviarios. Estos puentes, de acuerdo a su conformación geométrica, producen un obstáculo al libre escurrimiento del agua en épocas de crecidas.

Finalmente, la conformación de obras en el entorno del río Salado, se complementa con obras de saneamiento y drenaje pluvial, que fueron requeridas para drenar los excedentes pluviales que se producen directamente en el casco urbano de la ciudad y que no pueden desaguar al río como consecuencia de la interposición de los terraplenes de defensa. Esta circunstancia se verifica durante la ocurrencia de crecidas del río sumadas a lluvias intensas en la ciudad.

En virtud de lo expuesto, y considerando que muchas de estas obras tuvieron una incidencia directa o indirecta en el comportamiento registrado por los escurrimientos del río Salado en oportunidad de la crecida del año 2003, resulta importante efectuar una descripción de todas aquellas obras emplazadas en el tramo inferior del río.

- En el tramo inferior del río Salado, sobre una longitud de aproximadamente 20 km hasta su desembocadura en el río Paraná, se emplazan una serie de tres puentes ferroviarios y dos puentes carreteros.
- Esos puentes, cuya menor luz libre se encuentra en el correspondiente a la autopista Santa Fe – Rosario (155 m), reducen la capacidad de conducción natural del río, generando fuertes estrechamientos al normal escurrimiento de las aguas en épocas de crecida.
- El puente de la autopista sufrió sucesivos procesos erosivos durante crecidas registradas en forma previa a la ocurrida en el año 2003. Principalmente, en la crecida del año 1973 se produjo el colapso de su tablero central, volviendo a reconstruirse con una luz semejante a la original. Esta estructura produjo, en oportunidad de la crecida de 2003, una sobreelevación hacia aguas arriba del orden de los 0,70 m a 0,80 m.

- Las obras de defensa existentes en el valle aluvial del río Salado presentaban, al momento de la crecida, dos tramos materializados. Los mismos, tramos I y II, comprendían el sector del río desde el Puente Carretero hasta un sector coincidente con la traza de la calle Gorostiaga, al sur del Hipódromo de las Flores. El concepto general manejado en el proyecto de las obras de defensa preveía la construcción de un tercer tramo (tramo III) entre esta última sección y terrenos emplazados al norte de la localidad de Recreo.
- Los antecedentes existentes demuestran que en el proyecto del tramo II se previó un cierre abrupto y provisorio del mismo en la sección correspondiente a la calle Gorostiaga, no encontrándose antecedentes escritos que permitieran asegurar que existió otra variante original al proyecto mencionado. En ese sentido, el muro que conforma el tramo II de la defensa fue construido según las pautas especificadas en el proyecto ejecutivo del mismo que data del año 1996. En el contexto señalado, la obra se previó y construyó con un muro provisorio de cierre, transversal al eje del terraplén, conformado por mampostería reforzada y apoyado en el cordón sur de la calle Gorostiaga. Así mismo, se preveía la necesidad de complementar el cierre mediante una acción de emergencia, en caso de producirse una crecida, con bolsas de arena.
- Si bien es factible suponer que esta concepción del proyecto estuvo basada en la hipótesis de una continuación relativamente rápida del tramo III de la defensa, se debe destacar que la misma presentaba elevados riesgos frente a potenciales crecidas del río en el período previo a la materialización de este último tramo. Este hipotético riesgo, que con la configuración final de la obra (previa al ingreso del agua en abril del 2003), resultaba del orden del 25 %, aparece como muy elevado para resultar admisible frente a las consecuencias que finalmente se registraron a partir del anegamiento sufrido por el casco urbano de la ciudad.

3 ASPECTOS NO ESTRUCTURALES QUE MITIGARIAN LA VULNERABILIDAD DE LA CIUDAD DE SANTA FE

3.1 Sistema de Alerta Hidrológica (Anexo VIII)

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

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

Es importante que estos grupos establezcan contactos entre si para ayudar a realizar el pronóstico y las pertinentes medidas de respuesta a la alerta.

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

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

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

- un conjunto de informaciones suministradas por la Dirección de Comunicaciones y medios periodísticos que constituye una base mínima adecuada para realizar el pronóstico
- modelación matemática de fácil accesibilidad;
- criterios hidrológicos simples (procedimiento por extrapolación lineal), pero igualmente válidos.

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

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

3.2 Plan de Contingencia (Anexo III)

El Plan de Contingencia designa, vincula y asigna responsabilidades a los distintos actores que intervendrán en una emergencia o desastre en sus distintas fases. Implica la organización de las instituciones públicas (estatales y no estatales), para que con sus recursos humanos, tecnológicos, materiales y financieros, bajo una unidad de dirección, promuevan una eficiente acción en el territorio que minimice los impactos negativos de dichas situaciones. Es un componente del Plan para Emergencias y Desastres que contiene los procedimientos para la pronta respuesta en caso de presentarse un evento específico.

El Plan de Contingencia está compuesto por procedimientos operativos específicos y preestablecidos de coordinación, alerta, movilización y respuesta ante la manifestación o la inminencia de un fenómeno peligroso particular, para el cual se tienen escenarios de efectos definidos con el fin de salvaguardar la vida, proteger los bienes y recobrar la normalidad de la sociedad tan pronto como sea posible.

De acuerdo a los conceptos expresados anteriormente y a la importante información que esta pericia ha podido analizar, se puede concluir que en el caso de la inundación de la ciudad de Santa Fe por la crecida del Río Salado en abril-mayo de 2003 no existía, por parte de la autoridad gubernamental (provincial y municipal), un Plan de Contingencia que hubiera permitido realizar acciones en forma ordenada y oportunas. En efecto, las acciones que se realizaron extemporáneamente fueron:

- evacuaciones que no evitaron víctimas fatales;
- el cierre de la defensa con bolsas de arena y material pétreo cuando ya estaba entrando el agua por calle Gorostiaga;
- la rotura del terraplén de defensa en la zona suroeste de la ciudad cuando ya el agua había alcanzado la altura de 3 m dentro de la ciudad.

De acuerdo a las actas y testimonios que manifiestan el accionar del Comité de Emergencia se puede inferir que tal accionar no estuvo signado por metodologías y orden, sino que muy por el contrario fue desordenado y falta de liderazgo en su coordinación. Varios de sus miembros desconocían sus roles.

Esta pericia considera que si hubiera habido un Plan de Emergencias con su respectivo Plan de Contingencia se podrían haber tomado las siguientes medidas no estructurales y estructurales:

- pronóstico de la crecida, que hubiera permitido el accionar con 3 días de anticipación como mínimo;
- evacuación ordenada de las personas potencialmente afectadas;
- determinación del lugar y del tiempo para producir las brechas en el terraplén de la defensa, con base en un simple modelo de simulación de llenado del embalse producido por la defensa oeste y sur de la ciudad;
- cerramiento de la defensa con bolsas de arena en forma anticipada, lo cual hubiera permitido por una parte su realización en seco y, por otra, haberse logrado una mayor altura y longitud de resguardo, lo que hubiese resultado en una mitigación en cuanto a los tiempos de desarrollo de los acontecimientos.

3.3 Legislación (Anexo VII)

A continuación se señalará la legislación vigente con base en la cual se podrían adoptar medidas no estructurales de mitigación asociadas a eventos de inundación.

En el momento de producirse la crecida de abril-mayo de 2003 existían los siguientes antecedentes en la legislación sobre uso del suelo:

- Decreto N° 07317/67
- Ley 11730 sancionada el 30/11/2000 y no reglamentada hasta el 06/11/2003 (posterior a la crecida) por el Decreto N° 3695.

De la lectura de la Ley 11730 se ha podido extraer de interés a esta pericia:

Art. 21: Plan de emergencia: El Estado Provincial elaborará un Plan de Acciones para emergencias por inundaciones para enfrentar situaciones límites. En él participarán todos los sectores de la comunidad involucrados, asignando claramente las responsabilidades tanto del Estado como de los particulares.

Las áreas inundadas por la crecida de abril-mayo de 2003 deberían haber estado incluidas como Áreas II = vía de evacuación de crecidas y áreas de almacenamiento como lo confirma el Decreto N° 3.695/2003 (Bienes Zonas Inundables) que establece:

Art. 2°.- A los efectos de la presente Ley, las Areas II y III establecidas en su Artículo N° 2 se determinarán conforme las siguientes definiciones:

2.1. Area II:

2.1.1. Se considera vías de evacuación de crecidas a toda geoforma que es capaz de conducir las aguas de crecidas. Se incluyen en esta categoría el cauce mayor o planos de desborde de los cauces que conducen agua cuando el caudal excede la capacidad del cauce principal, las cañadas, esteros y todo tipo de concatenación de bajos naturales que conducen agua durante períodos de excedencia hídrica, así como también las áreas de escurrimiento mantiforme, en las zonas que carecen de red de drenaje definida.

2.1.2. Las áreas de almacenamiento son las definidas por depresiones de la superficie de terreno donde se acumulan las aguas de crecidas.

A su vez, está vigente la ley 8094/77 “Ley de Defensa Civil” modificada por la ley 8431/79 que cambia la denominación de “Dirección General de Defensa Civil” por la de “Dirección Provincial de Defensa Civil”. Su reglamentación rige a través del Decreto 4401/77.

El 23/05/03 se emite el Decreto 1314/03 por el que se crea la Subsecretaría de Emergencia y donde se reconoce la vigencia de la ley 8094/77.

La ley provincial 8094 detalla las responsabilidades, obligaciones y facultades del Ejecutivo en caso de producirse situaciones de desastre en territorio santafesino como la ocurrida en abril/mayo de 2003.

El Decreto 4401/77 especifica, entre otros temas, las funciones de la Dirección Provincial de Defensa Civil, las misiones de las Juntas Municipales y Comunales de Defensa Civil, estableciendo compatibilidades entre los planes de emergencia provincial, comunal y municipal.

4 DESCRIPCIÓN DE LA CRECIDA DE 2003

4.1 Aspectos de la Dinámica Hídrica (Anexo V)

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.

A los efectos de lograr una adecuada comprensión del comportamiento hidrológico del río Salado, es de importancia el análisis de la dinámica hídrica superficial dentro de su cuenca. La misma resulta de las relaciones causas-efectos que se desarrollan en el sistema hídrico y que son, en definitiva, la resultante de la historia geológica, geomorfológica y climática del área, que interactúan y se integran con los procesos actuales que caracterizan a la misma.

Desde el punto de vista de la dinámica hídrica es posible distinguir tres áreas: (i) donde se desarrollan procesos de relativa complejidad; (ii) donde se desarrollan procesos de relativa simplicidad y (iii) de influencia del sistema del Paraná.

La primera abarca a la región de los Bajos Submeridionales y contiene, como tributarios, dos componentes fundamentales: los ríos Calchaquí y Salado. La complejidad radica en las características intrínsecas de los procesos hídricos de la región de los Bajos, que consiste en un área muy plana, cuya dinámica está determinada por los escurrimientos denominados areales o mantiformes.

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). Esto 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 segundo componente inicialmente citado, el río Salado, se caracteriza por desarrollarse antes de su ingreso a una región de transición entre las dos primeras áreas antes mencionadas, en un contexto muy disímil. En el trayecto de orientación O-E el curso principal del río Salado no presenta una trascendencia, en términos comparativos y cuantitativos, como tributario a la zona de aguas abajo.

El tramo del río Salado con dinámica hídrica relativamente simple se desarrolla, a partir del ingreso del A° Las Conchas, en un cauce y su respectivo valle con contornos bien definidos.

El valle, 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.

En el presente, debido a una superposición de años húmedos y, fundamentalmente, a los cambios en las modalidades productivas, que se traducen en la eliminación de los montes nativos, la disminución de la capacidad de infiltración y las canalizaciones, entre otras, se observa una mayor actividad dinámica del valle, siendo más frecuente la ocupación del mismo por parte del agua.

La región de influencia del río Paraná, tercera área antes citada, 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., lo más importante a destacar es que los niveles alcanzados por el río dependen de la magnitud de la crecida del propio Salado y de las alturas del Paraná.

4.2 Causas Hidrológicas (Anexos IV, VIII y VI)

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 3954 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 3954 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.

En base a la modelación hidrológica e hidráulica realizada por esta pericia, se ha podido determinar que el tiempo de concentración de la cuenca en RP 70 (estimación del tiempo de respuesta de la cuenca ante una precipitación), para este evento hidrológico, estuvo en el orden de 4 a 5 días, a lo que habría que sumarle aproximadamente un día más para tener el resultado en la ciudad de Santa Fe.

En varias de las publicaciones revisadas con motivo de esta pericia se atribuyen los elevados valores de las precipitaciones a un ciclo húmedo o al cambio climático global. Al respecto, en base a un análisis estadístico de varias estaciones pluviométricas, se ha podido establecer que no es obvio que, en las estaciones distribuidas en la cuenca, se pueda afirmar que existe una tendencia de cambio en las precipitaciones tanto anuales como las referidas a las diarias máximas, que son las que principalmente originan las crecidas.

4.3 Aspectos Hidráulicos (Anexo XI)

A partir del proceso de simulación hidrodinámica realizado por esta pericia, se pudo constatar las condiciones de funcionamiento del tramo inferior del río Salado frente a distintos eventos de crecida y en particular con los caudales registrados en el evento de abril/mayo de 2003.

Sobre la base de estos resultados, es posible efectuar los comentarios que se presentan a continuación.

La crecida del año 2003 tuvo un pico de caudal en la RP70 de 3.954 m³/s, conformando una crecida excepcional, asociada a un periodo de retorno del orden de 800 años (período asociado a la probabilidad de ocurrencia de un caudal igual o superior al mismo). Esta magnitud de caudal dio lugar a la formación de escurrimientos en el tramo inferior con niveles elevados que superaron la cota mínima de desborde hacia el casco urbano, dada por la rasante de la Calle Gorostiaga.

En ese sector se produjo el ingreso del agua a la ciudad, cuando los niveles del río superaron la cota 15 m IGM. Este hecho se produjo en el transcurso del día 27 de abril, generándose un pico máximo el día 1° de mayo, con niveles que en esa sección alcanzaron el entorno de 16,90 m. Éste crecimiento de niveles en el lado externo del terraplén, sumado a la falta de una protección adecuada en el extremo final del mismo, produjo una progresiva socavación y la formación de una brecha de más de 100 m de longitud. Por esta brecha se generó el ingreso del mayor volumen de agua a la ciudad.

Un análisis del desfase existente entre los picos de crecidas registrados en la RP70 y el correspondiente pico en la zona de ingreso a la ciudad permitió establecer la existencia de un retardo del orden de las 24 hs a 30 hs entre ambos picos. Considerando esta diferencia, tomada en el período previo a que se produjera el ingreso a la ciudad, los caudales registrados en la RP70 (el día 26 de abril) resultaban del orden de 1.400 m³/s, con niveles en la zona de ingreso 1 m por debajo de la cota mínima.

Debe destacarse que las lluvias registradas durante el 28 y 29 de abril incrementaron la tasa de crecimiento de los niveles.

El tramo inferior del río 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, 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 sobreelevaciones en el nivel aguas arriba del orden de 0,70 a 0,80 m.

5 DESCRIPCIÓN DE LA INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE SANTA FE (ANEXO XII)

A partir del día 27 de abril, el agua comenzó a ingresar por la sección abierta del terraplén de defensa en la zona del Hipódromo, sucediéndose secuencialmente lo siguiente:

> Día domingo 27 de Abril

Los niveles del río Salado superaron la cota mínima de la defensa, definida en esa oportunidad por la brecha existente entre el extremo norte del tramo II y las instalaciones del Hipódromo. Los ingresos se produjeron inicialmente en forma de manto a partir de la calle Gorostiaga.

Esta pericia no encontró elementos que certificaran que durante el transcurso de esta jornada se hayan registrado acciones concretas con relación al ingreso del agua, excepto su monitoreo.

> Día lunes 28 de Abril

En esta jornada el ingreso de las aguas por la Calle Gorostiaga resultaba más importante aún. El agua comenzó a ocupar los terrenos aledaños al hipódromo, encauzándose hacia aguas abajo por la traza de la avenida Circunvalación Oeste.

En horas de la tarde de ese día, se había producido el inicio de un proceso de erosión sobre el extremo norte del terraplén de defensa (Tramo II), con el consecuente incremento del ancho de ingreso del flujo a la ciudad.

Los excedentes hídricos ocupaban sectores aledaños a la autopista y la Av. Pte. Perón.

Pudo detectarse, a través de la documentación fílmica consultada, la existencia de equipos y maquinarias, así como personal técnico desarrollando tareas tendientes a cerrar la sección de ingreso. Según pudo apreciarse, el procedimiento aplicado consistió en la colocación de bolsas de arena y el volcado de piedras a fin de generar un tapón de cierre.

Por lo observado, el caudal de ingreso superaba ampliamente las acciones iniciadas, no registrándose una incidencia evidente en el objetivo primario de cegar la zona de acceso.

Se tiene constancia de una reunión mantenida por el Comité de Emergencia en la cual se pone de manifiesto la situación que se desarrollaba en esa zona. Según consta en las Actas correspondientes, entre las acciones que tomó el Comité se encontraban la concreción de ayuda logística a los centros de evacuado y la coordinación ente los distintos organismos Municipales.

Según pudo constatarse de las declaraciones de los propios funcionarios Municipales, se desprende que las tareas realizadas para cerrar el ingreso de agua a la ciudad no fueron exitosas, registrándose un notorio incremento de los volúmenes ingresados al casco urbano.

Se tiene constancia de una segunda reunión del Comité de Emergencia, el cual admite el fracaso de las medidas tomadas para el cierre y dispone la evacuación de la población afectada en la zona noroeste de la ciudad.

Asimismo, se constató en documentos fílmicos, la existencia de acciones en la zona de cruce de la autopista Santa Fe – Rosario, mediante las cuales se intentaba detener el agua con el cierre de alcantarillas de paso materializadas sobre la traza de la misma.

Se desprende que la intención primaria era contener los volúmenes en el sector norte de la autopista, no encontrándose evidencias que dicho accionar estuviera respaldado por una evaluación técnica de los volúmenes que efectivamente ingresaban a la ciudad.

➤ *Día martes 29 de Abril*

Durante este día se produjo el progresivo avance de las aguas hacia la zona sur de la ciudad, encontrándose en horas de la mañana un importante nivel de anegamiento en el frente norte de la autopista a Rosario. Se observa el ingreso de excedentes desde el norte hacia al sur de dicha arteria en la intersección de las Av. Perón e Iturraspe.

En horas cercanas al mediodía, las aguas avanzan ocupando parte del Barrio Villa del Parque, comenzándose a desarrollar acciones tendientes a proteger el Hospital de Niños, donde el agua llega pasadas las 14 hs.

Según consta en las actas correspondientes, el Comité de Emergencia se reúne evaluando la situación y dando instrucciones para la provisión de elementos, bienes y ayuda a las localidades de Recreo, Monte Vera y zonas del entorno.

Se dispone en esta fecha la formación de un Comité de Crisis para coordinar las tareas durante la emergencia.

En principio, y solamente sobre la base de las declaraciones que constan en las actas del Comité, se estuvo evaluando la situación de emergencia efectuándose hipótesis acerca de los niveles finales que se podrían alcanzar a partir del ingreso de las aguas. Existía un antecedente que, en principio, fue evaluado que estaba dado por el estudio del INA respecto de los alcances máximos de la inundación para distintos caudales de ingreso. Se evaluaban, así mismo, distintas hipótesis respecto del número potencial de evacuados.

Según declaraciones que figuran en el Expediente N° 1341/2003, existió la intencionalidad primaria de efectuar cortes en los terraplenes de defensa y en el terraplén de aproximación al puente de la Autopista.

Aproximadamente al promediar la tarde, el agua había alcanzado algunos sectores de los denominados barrios Chalet y Centenario.

Para ese momento, el nivel del río Salado en la zona de ingreso al Hipódromo superaba los 16,50 m, aproximadamente 1,50 m por encima de la cota de desborde.

> *Día miércoles 30 de Abril*

En horas de la madrugada del día miércoles, los niveles de agua en la zona de la calle Mendoza, así como en sectores del radio céntrico, se encontraban por encima de los 2,50 m.

En la mañana del mismo día se observan anegamientos importantes en la zona del barrio Centenario, encontrándose cortada la Av. Circunvalación en varios puntos.

Según se pudo constatar, en horas de la mañana se registraban desniveles importantes entre el recinto interior del casco urbano y los niveles de escurrimiento del propio río Salado. Frente a esta situación, personal de la Provincia decide efectuar cortes en la Avda. Mar Argentino para lo cual se realizan gestiones en función de la obtención del equipamiento necesario a través de distintas empresas. Finalmente, se convocó a personal del Ejército para efectuar voladuras del terraplén.

Estas tareas comienzan en horas de la mañana y se prolongan durante todo el día, efectuándose distintos cortes en la Avda. Mar Argentino y en el tramo I del terraplén de defensa Oeste (Irigoyen).

Hacia la tarde del día miércoles, se observa en la documentación fílmica consultada, la existencia de anegamientos en calles céntricas de la ciudad.

> *Día jueves 01 de Mayo*

Se continúan las tareas de apertura de las defensas de la ciudad. Los cortes de los terraplenes realizados, sobre la Av. Mar Argentino, a la altura de Puerto Piojo, y el terraplén Irigoyen, generaron una condición de escurrimiento desde el casco urbano hacia el río, permitiendo que gradualmente descendieran los niveles en el interior del recinto conformado por los terraplenes de defensa.

Los anegamientos dejaron bajo agua todo el sector Oeste de la ciudad, incluyendo los tres hospitales existentes en la zona y gran parte de la zona sur y alrededores al centro.

6 CONSIDERACIONES GENEALES

6.1 Magnitud Absoluta y Relativa de la Crecida (Anexos IX y X)

Esta pericia realizó estudios 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 o, dicho en otras palabras, el *tiempo de recurrencia* o *tiempo de retorno* del caudal máximo de la citada crecida.

Con tal objetivo fue analizada la serie de registros correspondiente al período 1875-2002, la cual 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:

- a) la crecida del año 2003 (3.954 m³/s) fue la mayor dentro del período 1875-2005. Aún así, se verificó que existían elementos con anterioridad al año 2003 que determinaban que la misma era estadísticamente previsible;
- b) el empleo de 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 %;
- c) si se considera toda la información que se dispone hasta la actualidad, 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.

6.2 Causas Estructurales de la Inundación

Se observó que en 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.

Se realizó una simulación en el A° Cululú a los efectos de la evaluación de los impactos hidrológicos de las acciones antrópicas sobre las áreas de aporte a la red actualmente existente y sobre la propia red de drenaje de la cuenca. Como resultado de tal simulación, se estimaron aumentos de la magnitud de los caudales del orden del 30 % y reducciones del orden de 12 h en el tiempo de llegada a la salida de la cuenca. La importancia de esta reducción radica en la disminución del lapso disponible para la adopción de medidas emergenciales. 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 en la cuenca seguramente incidieron con respecto a la situación anterior a la de los años 70, y produjeron cambios sustanciales tanto en el pico como en el tiempo de llegada de la onda de crecida del año 2003.

Con respecto a la expansión urbana de la ciudad de Santa Fe, cabe destacar que hasta fines del siglo XIX se mantuvo en un total equilibrio con el río Salado. Como resultado de ello el nivel de percepción de la población acerca de las crecidas de este río era prácticamente inexistente.

Hasta mediados del siglo XX las crecidas más importantes del río Salado fueron registradas en los años 1886, 1914 y 1946. Sin embargo, las mismas no resultaron críticas para la ciudad de Santa Fe en función del trazado que la ciudad presentaba por entonces.

La ocurrencia de un período relativamente seco, de 59 años de duración (entre 1914 y 1973), contribuyó a la ausencia de medidas municipales tendientes a restringir el loteo de áreas con alto riesgo de inundación.

La ejecución de las sucesivas defensas laterales contribuyó a comenzar una ocupación que inicialmente era precaria y estaba conformada por la parte de la población más carenciada. Con el tiempo estos barrios fueron transformando su fisonomía, constituyéndose así en importantes sectores de la ciudad.

La visión asociada a la solución clásica de las inundaciones en el área urbana basada exclusivamente en la ejecución de obras de ingeniería se arraigó fuertemente hasta el presente. Así fue que este hecho condujo a decisiones inapropiadas, tales como, entre otras, la instalación tanto del nuevo Hospital de Niños Dr. Orlando Alassia como de la Estación Transformadora de Energía, en áreas signadas por su alto riesgo hídrico.

El local empleado por la Municipalidad de Santa Fe para el asiento de buena parte de su material de logística pesada (maquinarias, vehículos pesados, etc.), imprescindible para actuar en momentos de emergencias hídricas, tales como la ocurrida en abril/mayo de 2003, ya contaba con antecedentes de inundación desde 1929.

El progresivo desarrollo de la ciudad hacia el Oeste dio lugar a la materialización de una serie de obras de infraestructura urbana y vial, que actualmente se encuentran emplazadas en el valle aluvial del río Salado.

En el tramo inferior del río Salado, sobre una longitud de aproximadamente 20 Km hasta su desembocadura en el río Paraná, se emplazan una serie de tres puentes ferroviarios y dos puentes carreteros. Esos puentes, cuya menor luz libre se encuentra en el correspondiente a la autopista Santa Fe – Rosario (155 m), reducen la capacidad de conducción natural del río, generando fuertes estrechamientos al normal escurrimiento de las aguas en épocas de crecida.

El puente de la autopista produjo, en oportunidad de la crecida de 2003, una sobreelevación hacia aguas arriba del orden de los 0,70 m a 0,80 m.

Las obras de defensa existentes en el valle aluvial del río Salado presentaban, al momento de la crecida, dos tramos materializados (tramos I y II). El proyecto del tramo II previó un cierre abrupto y provisorio del mismo en la sección correspondiente a la calle Gorostiaga. La obra se

previó y construyó con un muro provisorio de cierre, transversal al eje del terraplén, conformado por mampostería reforzada y apoyado en el cordón sur de la mencionada calle. Así mismo, se preveía la necesidad de complementar el cierre mediante una acción de emergencia, en caso de producirse una crecida.

Si bien es factible suponer que esta concepción del proyecto estuvo basada en la hipótesis de una continuación relativamente rápida del tramo III de la defensa, se debe destacar que la misma presentaba elevados riesgos frente a potenciales crecidas del río en el período previo a la materialización de este último tramo. Este hipotético riesgo, que con la configuración final de la obra (previa al ingreso del agua en abril del 2003), resultaba del orden del 25 %, aparece muy elevado para resultar admisible frente a las consecuencias que finalmente se registraron a partir del anegamiento sufrido por el casco urbano de la ciudad.

6.3 Factibilidad Técnica de Medidas No Estructurales y Estructurales en la Emergencia

Se ha considerado que si hubiera habido un Plan de Emergencias con su respectivo Plan de Contingencia se podrían haber tomado las siguientes medidas no estructurales y estructurales:

- evacuación ordenada de las personas potencialmente afectadas;
- determinación del lugar y del tiempo para producir las brechas en el terraplén de la defensa;
- cerramiento de la defensa con bolsas de arena en forma anticipada, lo cual hubiera permitido por una parte su realización en seco y, por otra, haberse logrado una mayor altura y longitud de resguardo, lo que hubiese resultado en una mitigación en cuanto a los tiempos de desarrollo de los acontecimientos.

Como medida no estructural esta pericia ha evidenciado la factibilidad técnica de la realización de pronósticos para la crecida de 2003, que hubiera permitido el accionar con 3 días de anticipación como mínimo, en base a:

- un conjunto de informaciones suministradas por la Dirección de Comunicaciones y medios periodísticos que constituye una base mínima adecuada para realizar el pronóstico
- modelación matemática de fácil accesibilidad;
- criterios hidrológicos simples.

6.4 Hipótesis Sobre Medidas Estructurales y Acciones en la Emergencia

Esta pericia realizó una serie de hipótesis que ayudan a comprender la incidencia de hechos y estructuras que potenciaron los efectos de la crecida de abril/mayo de 2003.

El análisis realizado bajo la hipótesis de que no se hubieran producido las lluvias intensas generadas los días 28 y 29 de abril, determinaron la existencia de un nivel máximo de 16,50 m en la sección de ingreso de calle Gorostiaga, es decir aproximadamente 0,40 m por debajo de los efectivamente registrados. En tales circunstancias igualmente se hubiera producido el ingreso a la ciudad.

El análisis realizado sobre la hipótesis de retiro del puente de la autopista Rosario-Santa Fe hubiera determinado la generación, para la crecida del año 2003, de un nivel en la sección de ingreso cercano a 16,20 m, es decir próximo a la cota del terraplén provisorio realizado con motivo de la crecida de 1998. No obstante, de no haberse construido ese terraplén provisorio, tal como efectivamente ocurrió, el agua hubiera igualmente ingresado al casco urbano.

A una conclusión similar se llega si se consideran los efectos que hubieran generado potenciales brechas abiertas en el terraplén vial de la autopista. La magnitud de la brecha que hubiera generado algún efecto significativo en cuanto a la reducción de niveles en la zona de ingreso del Hipódromo, permite considerar a la medida como de muy difícil concreción en cuanto a su implementación en el momento de la emergencia debido a que sus dimensiones deberían haber sido del orden de 500 m.

Otra de las hipótesis realizadas consistió en la suposición de la conclusión de las obras del tramo III de la Defensa Oeste. En este escenario se consideró que no se producen derivaciones del caudal afluente al tramo inferior del río Salado. Esto pone del lado de la seguridad a los resultados obtenidos ya que en la realidad con este tramo de la defensa no se impide de manera absoluta el ingreso de agua en la zona norte próxima a Recreo. En la crecida de 2003 se produjo tal ingreso de agua, conectando así al río Salado con la Laguna Setúbal, mediante un escurrimiento de tipo mantiforme producido por una escasa carga hidráulica en la zona.

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 proyecto ejecutivo realizado con posterioridad a la crecida del 2003 (> 18,00 m).

Bajo las condiciones antes expuestas, puede afirmarse que en caso de haberse culminado con el cierre de la defensa, no se hubiera producido el ingreso de las aguas de la forma abrupta e incontrolada como efectivamente ocurrió en el año 2003.

El comentario anterior, sumado al hecho de que las obras de defensa, aún cuando presenten elevados niveles de resguardo no permiten eliminar plenamente su riesgo de falla (por colapso o por sobrepaso) pone de manifiesto la necesidad imperiosa que presenta la ciudad de contar con un sistema de alerta temprana organizado y, principalmente, con un Plan de Contingencia frente a eventos de inundación.

La existencia del terraplén de defensa, aún con la brecha existente en la sección del Hipódromo, produce un estrechamiento considerable en el ancho del valle de inundación. Esto se pone de manifiesto en una importante sobreelevación de niveles (1,50 m para la crecida de 2003) respecto de los que se tendrían en caso de no existir el mismo y de contarse con un menor nivel de urbanización en su entorno el cual incluye a la inexistencia del terraplén vial del puente de la autopista Rosario-Santa Fe. Claramente, tanto las defensas como el sector urbano Oeste de la ciudad se encuentran dentro del valle aluvial del tramo inferior del Río Salado.

En el tramo de la calle Gorostiaga hacia el norte, cuya cota inferior se encontraba en el entorno de los 15 m (IGM), resultaba factible de cerrarse (al menos 1 m por encima de su cota original) siempre y cuando el cierre se ejecutara sin escurrimientos de excedentes hacia el

interior de la ciudad. Una vez producido el ingreso, la factibilidad del cierre se reduce si no se cuenta con los medios técnicos y logísticos adecuados. Asimismo, considerando que la cota final que alcanzó el río en la zona de ingreso resultó cercana a los 17 m, la brecha de la calle Gorostiaga debió recrecerse cerca de 2 m por encima de su cota original. Los elementos antes considerados permiten afirmar que se adoptó una condición de proyecto de elevado riesgo.

En principio, los medios puestos a disposición para garantizar el cierre no dieron resultados satisfactorios, máxime si se considera la generación de una rotura del extremo norte del terraplén, aumentando el ancho de ingreso del flujo a la ciudad. Estos efectos se podrían haber minimizado de haberse efectuado el cierre de la zona abierta mediante la materialización del tramo III previsto en el proyecto.

La función básica de las obras de drenaje, almacenamiento y bombeo existentes en la zona Oeste de la ciudad es regular los caudales pico producidos durante eventos de tormenta intensos registrados en el propio casco urbano, así como permitir su evacuación a través de los terraplenes de defensa. Las capacidades de estos sistemas resultan acordes con las pautas habituales que rigen el diseño de obras pluviales, considerándose eventos de tormenta asociados a períodos de retorno de 2 a 10 años. Por estos motivos, sus capacidades resultan sustancialmente inferiores a las requeridas para laminar los volúmenes que finalmente ingresaron a la ciudad por la brecha del Hipódromo.

El análisis de las condiciones en que se encontraba el terraplén en forma previa a la crecida determinó lo siguiente:

- La generación de niveles iguales o mayores al nivel mínimo impuesto por la rasante de la calle Gorostiaga se encontraba asociado a crecidas del río Salado, sin influencia de los niveles del Paraná, con períodos de retorno inferiores a los 50 años. Este valor es sumamente bajo si se consideran los efectos y consecuencias que tuvieron finalmente los volúmenes ingresados a la ciudad.
- Si bien este nivel de protección se incrementaba mediante la realización de un cierre provisorio en la emergencia hasta la cota 16 (admitiendo crecidas de hasta 200 años de recurrencia), debe considerarse que dicha medida es factible de realizar en forma previa al comienzo del ingreso de las aguas. Durante la emergencia propiamente dicha, el recrecimiento provisorio, considerado en el proyecto del tramo II, era de muy difícil concreción.
- Las consecuencias derivadas de la solución de proyecto finalmente adoptada se pueden mensurar si se cuantifica el riesgo asociado al ingreso del agua a través de la brecha de la calle Gorostiaga. En ese caso, considerando un tiempo de exposición del orden de los 7 años (entre la finalización de la construcción y el efectivo ingreso del agua) se obtiene un riesgo del 25 % de que se produzcan crecidas con niveles superiores al mínimo indicado.
- Claramente, el nivel de riesgo total de sobrepaso o colapso del sistema resulta superior si se considera no sólo la probabilidad de paso por sobre la rasante de calle Gorostiaga sino la probabilidad de falla del extremo final del mismo en virtud de la solución adoptada para su culminación. Tal como ocurrió efectivamente, el muro de

mampostería no resultó una protección adecuada, dando lugar a su progresiva erosión y posterior colapso, situación que redundó en un incremento de la brecha de ingreso a la ciudad.

Las conclusiones antes mencionadas definen claramente que la ciudad se encontraba con un serio riesgo asociado a la forma de terminación del tramo II del terraplén de defensa y a la falta de construcción del tramo III correspondiente.

No obstante ello, se considera que aún con dichas obras terminadas, no se reduce a cero el nivel de vulnerabilidad de la ciudad dado que la misma presenta un importante sector de su casco urbano edificado en el valle de inundación del río. Por esta razón, la planificación y puesta en funcionamiento de un Plan de Contingencia y de un sistema de alerta aparecen como medidas que dejan de ser complementarias para adquirir un rol sustantivo en la mitigación de los efectos producidos por potenciales procesos de inundación. Ambas medidas no se encontraban implementadas en forma organizada y previa al evento del 2003.

6.5 Consideraciones Sobre el Proceso de Inundación de la Ciudad de Santa Fe

El cuadro de situación previamente descrito, marcó, en alguna medida, los sucesos y acciones que se fueron desarrollando durante la emergencia. Se pudo inferir en base a las constancias de todas las medidas y acciones realizadas durante el proceso que se inicia el 27 de abril que, básicamente, tales acciones se sucedieron con falta de coordinación, producto principalmente de la ausencia de un Plan de Contingencia.

En ese sentido, se ha establecido que no existía un sistema de alerta organizado y que tampoco se adoptaron sistemas alternativos técnicamente factibles que lo suplieran. En tales condiciones, no se podía estimar la evolución de los caudales en el tiempo y, menos aún, la magnitud de los caudales que finalmente iban a ingresar en la ciudad.

Es por ello que, se entiende, las medidas adoptadas tuvieron un retraso respecto de la instancia óptima para su concreción. En efecto, se pudo advertir que se fueron tomando decisiones y acciones tendientes a mitigar, en alguna medida, los efectos producidos por el abrupto ingreso del agua. También debe destacarse que las mismas no tuvieron, en la mayor parte de los casos, los efectos esperados.

De alguna manera se ha encontrado una serie de acciones que puede indicarse secuencialmente como sigue:

- 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.

En términos generales puede decirse que, si bien las acciones enunciadas resultan, en principio, compatibles y conducentes con relación a la secuencia de hechos, se observa una demora de al menos un día en la oportunidad de ejecución de las mismas.

Las dos primeras medidas debieron tomarse, en caso de haberse contado con algún sistema de previsión, en días previos al ingreso de las aguas. Principalmente el intento de cierre de la zona abierta del Hipódromo, dado que dicha acción no resulta factible de realizarse (o al menos tiene menores posibilidades de éxito) una vez iniciado el escurrimiento hacia el interior de la ciudad.

Debe contemplarse además, que aún cuando se hubiera ejecutado un cierre provisorio a cota 16,50 m en forma previa (tal como se ejecutó en el año 1998), los niveles del río Salado hubieran superado el mismo, ingresando finalmente a la ciudad.

Es por ello que se ha mencionado en esta pericia que esta medida de emergencia, considerada aún en el proyecto ejecutivo de las obras, no resultaba la más recomendable atendiendo principalmente los riesgos de falla de las mismas y la magnitud de las consecuencias derivadas de su no concreción.

La oportunidad de la evacuación de zonas ya afectadas o bien de aquellas que se encontraban en riesgo severo de inundación, está directamente vinculada con la existencia de un Plan de Contingencia debidamente implementado y establecido. No obstante, se considera que, aún sin la existencia de dicho Plan, y aún no habiéndose contado con un sistema de alerta, 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. Estas acciones debieron contemplar no solo las zonas que ya se encontraban anegadas sino también aquellas que, por su ubicación altimétrica, presentaban elevados riesgos de anegamiento.

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.

Con respecto a las acciones encaradas para aliviar la situación mediante la apertura de brechas y voladuras de terraplenes, 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.

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.

7 CONCLUSIONES

La crecida del 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. En tal sentido, deben señalarse los sucesivos cambios en el uso del suelo desde principios de la década del 70, los cuales dieron lugar a prácticas en el manejo de los excedentes que facilitaron los escurrimientos naturales, acelerando su conducción hacia el cauce natural del río.

La severa inundación que tuvo lugar en abril y mayo de 2003 en la ciudad de Santa Fe, reconoce un conjunto de causas combinadas que tienen su origen en factores tanto naturales como antrópicos. En tal sentido debe señalarse que la ocurrencia combinada de una crecida de elevado nivel de recurrencia, junto con la existencia de un conjunto de obras materializadas sobre un sector de la ciudad emplazado en el valle de inundación del río Salado, dieron lugar a las graves consecuencias ocurridas en el mencionado evento.

Las causas básicas que preponderantemente contribuyeron a la generación del evento de inundación en la ciudad de Santa Fe, fueron las siguientes:

- la existencia de una crecida extraordinaria con un nivel de recurrencia asociado del orden de los 800 años. El caudal pico de la misma resulta el máximo ocurrido hasta el presente en la historia registrada del río;
- el nivel de urbanización del sector Oeste de la ciudad de Santa Fe, que fue progresivamente incrementándose hacia el valle aluvial del río Salado, constituyendo el principal factor de riesgo asociado a crecidas de relativa magnitud;

- la inexistencia de un cierre integral de la región Oeste – Norte que permitiera cerrar el anillo de defensa con una cota tal que brindara un nivel de protección homogéneo a todos los sectores de la ciudad;
- la errónea concepción del proyecto de terminación del tramo II y la previsión de una medida de cierre de emergencia de difícil ejecución una vez configurada esta última;
- la existencia del terraplén de la autopista Rosario-Santa Fe con una luz libre insuficiente para situaciones de crecidas;
- la inexistencia de un sistema de alerta debidamente organizado y la falta de un Plan de Contingencia que hubiera asignado roles y medidas adecuadas a tomar una vez que el agua ingresó a la ciudad;
- los retrasos con los que se tomaron las medidas de emergencia preventivas y no estructurales durante el evento, vinculadas principalmente a la falta de planificación que dio lugar a una fuerte desorganización en el accionar de las autoridades.

Los dos primeros tramos de la defensa Oeste (I y II), que abarcan desde el puente carretero hasta la calle Gorostiaga, al sur del Hipódromo, presentaban una conformación equivalente a la prevista en sus respectivos proyectos, tanto en lo que respecta a su traza como a las cotas de coronamiento y secciones finales de los mismos.

En particular, la sección final del tramo II fue prevista, según consta en su proyecto ejecutivo del año 1996, mediante la materialización de un muro de mampostería reforzada emplazado en forma perpendicular al eje del mismo. Este muro fue concebido, y así se construyó finalmente, a partir de su apoyo sobre el cordón sur de la calle Gorostiaga. En esta sección, precisamente, se dejaba un huelgo de cota inferior a la cota general del terraplén, dando lugar, consecuentemente, a un menor nivel de protección al conjunto de la defensa.

Si bien en el proyecto se preveía una acción de emergencia consistente en el recrecimiento de ese tramo mediante bolsas de arena, se ha concluido que dicha acción presentaba un riesgo elevado en su ejecución, máxime si la misma no se desarrollaba con anterioridad al ingreso del agua.

Esta condición, definida en el proyecto de la obra, configuraba un elevado nivel de vulnerabilidad de la ciudad, máxime si se considera que el riesgo asociado de sobrepaso de dicha sección resultaba, para el período que abarca entre la finalización de la obra y el efectivo ingreso de las aguas, del orden del 25 %.

Con relación a las medidas adoptadas durante la emergencia, cabe consignar que las mismas respondieron a consignas del momento, no encuadrándose en el marco de un plan de emergencia debidamente organizado como lo establece la legislación vigente. Así mismo, la ciudad no contaba con un sistema de alerta que permitiera monitorear, en forma previa y

durante el evento, los niveles y caudales que escurrían por el río y los que finalmente terminaban accediendo a la ciudad. Ambas acciones, no establecidas con anterioridad, pueden considerarse como factores preponderantes en las consecuencias que finalmente terminaron registrándose con la inundación.

Con ese marco conceptual respecto de las acciones tomadas en la emergencia, puede concluirse lo siguiente:

- Tal como se dijo, fueron relativamente desorganizadas ante la falta de un plan previo, de la asignación de roles específicos y de la carencia de medios técnicos y logísticos adecuados para garantizar el éxito de las mismas.
- Si bien se ejecutaron acciones conducentes y, relativamente apropiadas para la situación, se considera que las mismas fueron ejecutadas con un retraso evidente a partir del desconocimiento que se tenía de la magnitud del evento.
- En ese contexto se encuadran las acciones correspondientes al cierre de la brecha en calle Gorostiaga y a la voladura de los terraplenes para producir el alivio y disminución de niveles en el interior del casco urbano. Ambas medidas debieron efectuarse con antelación al momento en que efectivamente se ejecutaron, si bien se considera que las mismas resultan de difícil ejecución sin los elementos de preaviso, organización y control requeridos para su implementación en momentos oportunos.
- Con relación a las medidas de evacuación y su oportunidad de implementación, se considera que las mismas también se encuentran fuertemente vinculadas a la existencia de niveles de alarma previamente definidos y a la ejecución de acciones acordadas con dichos niveles de aviso. No obstante, pudo constatarse que el inicio de ingreso del agua a la ciudad, el día 27 de abril, es decir 48 hs antes de que se agravara finalmente la situación, resulta un elemento de aviso importante como para encarar medidas preventivas de evacuación. Máxime si se considera que el día 28 de abril se declara la ineficacia de las medidas de control encaradas en el ingreso a la ciudad.

Al margen de lo expuesto, cabe destacar que esta pericia considera oportuno destacar algunos aspectos importantes que surgieron de las distintas investigaciones y desarrollos realizados durante la misma. Estos desarrollos tuvieron como objetivo básico crear una mejor comprensión de la problemática que afecta a la ciudad de Santa Fe en relación con su vulnerabilidad hídrica.

Básicamente, se destaca la necesidad de complementar las medidas estructurales y no estructurales para asegurar una disminución efectiva del riesgo hídrico en la población y la optimización de los recursos económicos. Entre tales medidas no estructurales pueden citarse:

- Control y planificación del desarrollo urbano.
- Educación e información de la población con relación a su convivencia con los procesos de inundación en zonas de alto riesgo, aún con obras de defensa debidamente implementadas.
- La concientización de las limitaciones de las medidas estructurales de ingeniería para actuar como único medio efectivo para mitigar y revertir los niveles de vulnerabilidad.
- Las medidas de control y aviso previo son fundamentales en la mitigación de los efectos de las crecidas. Es apropiada la conformación de sistemas que cuenten con el instrumental adecuado y las herramientas de cálculo que brinden la mayor precisión posible al pronóstico. No obstante, las medidas temporarias y transitorias que pueden implementarse con medios simples y confiables, deben ser fuertemente consideradas a fin de no reproducir en el futuro algunos de los problemas detectados durante el evento analizado.
- La permanente actualización de los mapas de riesgo hídrico y su correlación con el desarrollo urbano.