UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Maestría en Ecohidrología

Tesis de Maestría en Ecohidrología

Para la obtención del Título

Magíster en Ecohidrología

TÍTULO: ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca urbana arroyo del Gato

Autor: Ing. José Luis Carner

Director: Dr. Ing. Juan Manuel Galíndez

La Plata, Buenos Aires, 31 de Julio de 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Maestría en Ecohidrología

Tesis de Maestría en Ecohidrología

Para la obtención del Título

Magíster en Ecohidrología

TÍTULO: ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca urbana arroyo del Gato

Autor: Ing. José Luis Carner

Director: Dr. Ing. Juan Manuel Galíndez

La Plata, Buenos Aires, 31 de Julio de 2019

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, principio y fin de mis acciones.

*A mis compañeros de trabajo que siempre han apoyado este trabajo y se han
brindado para que pueda concluirse.*

*A todos los platenses que han confiado en la Universidad de La Plata y en
particular en el Departamento de Hidráulica.*

RESUMEN

El drenaje de una cuenca, y en particular las cuencas urbanas de la ciudad de La Plata, tiene un funcionamiento que, a lo largo del tiempo, fue modificado por el crecimiento urbano y por la implementación de medidas estructurales; estas medidas han cambiado el paisaje urbano, en particular los cursos naturales de agua, que han sido reemplazados por conducciones o han sufrido intervenciones de rectificación, limpieza y/o ampliaciones, por citar algunos. Estas obras, aun así, tienen una capacidad limitada de saneamiento en base a los criterios y caudales de diseño adoptados. Con tormentas de mayor magnitud a las previstas la cuenca superficial se activa como originalmente lo hacía. Los volúmenes excedentes a la capacidad prevista para el drenaje pluvial producen anegamientos y generan inundaciones con un riesgo asociado a la probabilidad del evento. Se manifiestan con el incremento de los calados o niveles del agua en calles, con su combinación de velocidades, e incluso puede llegar al ingreso en viviendas.

Por lo tanto, es preciso gestionar este riesgo, de manera eficiente, pretendiendo disminuir la vulnerabilidad en la cuenca y de la infraestructura expuesta a ella, minimizar los costos en inversiones en medidas estructurales, mejorando la adopción y eficiencia de medidas no estructurales, tales como los planes de ordenamiento urbano y uso del suelo. Los habitantes quedan expuestos a estos anegamientos y deben conocer los peligros asociados a la cuenca, fundamentalmente para la implementación de planes de contingencia.

En este trabajo se exponen los resultados de la aplicación de las normativas europeas, que permitieron cuantificar las amenazas y riesgos, para dar base y sustento técnico a los planes de emergencias y contingencias que se puedan plantear dentro de la ciudad, atendiendo a todo un rango de lluvias de recurrencias variadas que incluye a la precipitación máxima probable.

ABSTRACT

The drainage of a basin, and in particular the urban basins of the city of La Plata, has an operation that, over time, was modified by urban growth and by the implementation of structural measures; These measures have changed the urban landscape, in particular the natural water courses, which have been replaced by pipelines or have undergone rectification, cleaning and / or extensions, to name a few. These works, however, have a limited sanitation capacity based on the criteria and design flows adopted. With storms of greater magnitude than expected, the surface basin is activated as it originally did. Excess volumes to the capacity expected for storm drainage produce flooding and generate flooding with a risk associated with the probability of the event. They manifest themselves with the increase of drafts or levels of water in streets, with their combination of speeds, and may even reach entry into homes.

Therefore, it is necessary to manage this risk efficiently, aiming to reduce vulnerability in the basin and the infrastructure exposed to it, minimize costs in investments in structural measures, improving the adoption and efficiency of non-structural measures, such as the plans of urban planning and land use. The inhabitants are exposed to these flooding and must know the dangers associated with the basin, mainly for the implementation of contingency plans.

In this paper the results of the application of the European regulations are exposed, which allowed to quantify the threats and risks, to give base and technical sustenance to the emergency plans and contingencies that may arise within the city, attending to a whole range of rainfall of varied recurrences that includes the probable maximum precipitation.

ÍNDICE

PARTE A	1
PRÓLOGO DE LA TESIS DE MAESTRÍA	3
EL FACTOR TIEMPO	4
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	7
1.1 INTRODUCCIÓN AL PLAN DE TESIS	7
1.2 INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN PRECEDENTE (METEOROLOGÍA)	7
2 OBJETIVOS Y ALCANCES	12
2.1 OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO DE TESIS	12
2.2 ALCANCES DE LA TESIS	12
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA	13
2.4 MEDIDAS ESTRUCTURALES	14
2.4.1 ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN	15
2.4.2 ESTUDIO DE LAS ATENUACIONES POSIBLES CON LOS ARTEH Y SU INCIDENCIA EN CAMBIOS DEL RIESGO POTENCIAL DE INUNDACIÓN DEL CASCO URBANO	16
2.4.3 INTRODUCCIÓN A MEDIDAS ESTRUCTURALES DE BAJA RECURRENCIA	20
2.4.4 ESTRUCTURAS DE SISTEMAS SUSTENTABLES	21
2.4.5 ESTUDIO DE LOS SISTEMAS URBANOS SUSTENTABLES PARA LA CIUDAD DE LA PLATA	21
2.4.6 COLORES DEL AGUA	24
2.4.7 APLICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SUSTENTABLE	26
2.5 INUNDACIONES Y SU ESTUDIO	27
2.6 OTRAS CONSIDERACIONES	27
2.7 PRESENTACIÓN	28
2.8 GESTIÓN DEL RIESGO	29
2.9 DEFINICIONES DE RIESGOS DESDE LA PERSPECTIVA DE UN PROYECTO	30
2.10 LOS RIESGOS Y SU GESTIÓN	33
PARTE B	37
3 METODOLOGÍA DE TRABAJO	38
3.1 INTRODUCCIÓN	38
3.2 METODOLOGÍA SWMM	38
3.3 MODELO HEC - RAS	39
3.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO: PLANIFICAR LA RESPUESTA A LOS RIESGOS	39
3.4.1 METODOLOGÍA EN BASE A MODELOS MATEMÁTICOS	39
3.4.2 METODOLOGÍA SUFRI PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO	40

3.4.3	BASADA EN MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE VIDAS	42
3.4.4	BASADA EN MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS	44
3.5	DESCRIPCIÓN DE LAS FASES Y DE LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES ESTUDIADAS	46
4	RESULTADOS HIDRODINÁMICOS	51
4.1	INTRODUCCIÓN	51
4.2	RESULTADOS GENERALES DEL ESCURRIMIENTO EN CALLES Y CONDUCTOS	51
4.3	RESULTADOS EN LA RED MAYOR DE DRENAJE, CALLES y AVENIDAS	56
4.4	RESULTADOS EN LA RED MENOR DE DRENAJE PLUVIAL	73
4.4.1	RESULTADOS EN LA RED MENOR DE DRENAJE, CONDUCTOS PRINCIPALES - TRONCALES	75
4.4.2	RESULTADOS EN EL CURSO PRINCIPAL DEL ARROYO DEL GATO	96
4.4.3	RESULTADOS DE LA RED MENOR DE DRENAJE. CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS PARA TODOS LOS EVENTOS MODELADOS.	101
5	RESULTADOS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO	106
5.1	INTRODUCCIÓN	106
5.2	RESULTADOS PARA LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS y PROBABILIDADES	106
5.2.1	RESULTADOS PARA LA TORMENTA DE LOS DÍAS 2 Y 3 DE ABRIL DE 2013.	106
5.2.2	RESULTADOS PARA TODAS LAS TORMENTAS ESTUDIADAS	110
6	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS MATEMÁTICOS	122
6.1	INTRODUCCIÓN	122
6.2	CONCLUSIONES DE LA FASE 1. SITUACIÓN ANTECEDENTE.	122
6.3	CONCLUSIONES DE LA FASE 2. SITUACIÓN ACTUAL.	123
6.4	CONCLUSIONES DE LA FASE 3. IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES	125
6.4.1	RESULTADOS PARA FASE 3a, SITUACIÓN CON RESERVORIOS	125
6.4.2	RESULTADOS PARA FASE 3b, SITUACIÓN CON TÚNELES	132
6.4.3	RESULTADOS PARA FASE 2 CON IMPLEMENTACIÓN DE COMPUERTAS	138
6.5	CONCLUSIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES	139
7	CONCLUSIONES SOBRE LA GESTION DEL RIESGO	142
7.1	INTRODUCCIÓN	142
7.2	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	142
7.2.1	ALERTAS, PREDICCIONES Y COMUNICACIONES	142
7.2.2	CONSTRUCCIONES Y ESTRUCTURAS	143

7.2.2.1	ESTUDIO DE RECONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN ZONAS INUNDABLES POR ENCIMA DEL NIVEL DE REGISTRO DE LAS MODELACIONES: COTA +0.45 m	145
7.2.3	RESILIENCIA URBANA	146
7.3	SEGUROS E INDEMNIZACIONES	147
7.4	CONCLUSIONES SOBRE LA GESTION DEL RIESGO Y MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	147
7.5	APLICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN BASES PARA LOS PLANES DE CONTINGENCIA	149
7.6	FICHAS DISCRIMINADAS POR SECTORES DE LA CUENCA	149
8	MAPAS GENERADOS EN ESTE TRABAJO	236
8.1	INTRODUCCIÓN	236
8.2	FASE 1: SITUACIÓN AL AÑO 2013	236
8.3	FASE 2: SITUACIÓN ACTUAL CON OBRAS EJECUTADAS	236
8.4	FASE 3a: SITUACIÓN ACTUAL CON PROPUESTA DE RESERVORIOS	236
8.5	FASE 3b: SITUACIÓN ACTUAL CON PROPUESTA DE TÚNELES	236
8.6	SITUACIÓN ACTUAL CON ALTURAS Y SEVERIDADES PONDERADAS EN FUNCIÓN DE SU PROBABILIDAD	236
	REFERENCIAS	294
	ANEXOS	297
	ANEXO 1	299
	A.1 PRECIPITACIONES	301
A.1.1	INTRODUCCIÓN	301
A.1.2	CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN LOS ESCENARIOS DE TORMENTA	301
A.1.3	JUSTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS Y LAS LEYES DE LLUVIA A UTILIZAR	302
A.1.4	ESTUDIO DE LOS HIETOGRAMAS	310
A.1.5	CONSECUENCIAS DERIVADAS DEL EVENTO DE LOS DÍAS 2 y 3 DE ABRIL DE 2013	311
A.1.5.1	INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN PRECEDENTE	311
A.1.5.2	CONSECUENCIAS DEL EVENTO PLUVIAL EN LAS CUENCAS URBANAS	311
A.1.6	COMENTARIOS FINALES SOBRE LAS PRECIPITACIONES	311
	ANEXO 2	315
	A.2 MODELOS MATEMÁTICOS	317
A.2.1	INTRODUCCIÓN AL MODELO SWMM	317
A.2.1.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	317
A.2.1.2	DATOS DE ENTRADA	319
A.2.1.3	DATOS DE SALIDA	322

A.2.2	INTRODUCCIÓN AL MODELO HEC-RAS	323
A.2.2.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	324
A.2.2.2	DATOS DE ENTRADA	324
A.2.2.3	DATOS DE SALIDA	326
ANEXO 3		329
A.3	MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL RIESGO SOCIAL Y ECONÓMICO	331
A.3.1	INTRODUCCIÓN AL SUFRI	331
A.3.2	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE INUNDACIÓN PLUVIAL	331
A.3.2.1	PERSONAS AFECTADAS	332
A.3.2.2	DAÑOS ECONÓMICOS	335
A.3.3	NIVELES CRÍTICOS	338
ANEXO 4		345
A.4	RELACIONES COSTO - BENEFICIO	347
A.4.1	INTRODUCCIÓN	347
A.4.2	MEDIDAS ESTRUCTURALES: OBRAS ACTUALES	347
A.4.3	MEDIDAS ESTRUCTURALES: COMPUERTAS	349
A.4.4	MEDIDAS ESTRUCTURALES: RESERVORIOS	351
A.4.5	MEDIDAS ESTRUCTURALES: TÚNELES	353
EL JUICIO FINAL		355
EL JUICIO FINAL		357

TABLAS

TABLA 2-1.- VOLUMENES DE PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y ALMACENAMIENTO EN LA CUENCA, PARA LOS EVENTOS MODELADOS.	20
TABLA 2-2.- TIPO DE CONTAMINANTES EN AGUAS PLUVIALES Y SU FUENTE. CÁMARA ARGENTINA DE LA CONSTRUCCIÓN (2009).	23
TABLA 2-3.- CONTAMINANTES Y TASAS DE DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA SECA. BANNERMAN (1984).	23
TABLA 2-4.- RELACIÓN ESCORRENTÍA / PRECIPITACIÓN. PARA LAS TORMENTAS ESTUDIADAS EN EL CASCO URBANO DE LA PLATA, CUENCA ARROYO DEL GATO.	25
TABLA 3-1.- NIVEL DE SEVERIDAD S.	41
TABLA 3-2.- PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ÁREA.	43
TABLA 3-3.- PORCENTAJE MEDIO DE DAÑOS SEGÚN LA ALTURA ALCANZADA POR EL AGUA.	45
TABLA 4-1.- CAUDALES EROGADOS POR LOS CONDUCTOS TRONCALES, Y POR EL ARROYO DEL GATO AGUAS ARRIBA DE 143 Y AGUAS ABAJO DEL FF.CC. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	102
TABLA 4-2.- CAUDALES EROGADOS POR LOS CONDUCTOS TRONCALES Y DERIVADORES, Y POR EL ARROYO DEL GATO AGUAS ARRIBA DE 143 Y AGUAS ABAJO DEL FF.CC. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	103
TABLA 4-3.- CAUDALES EROGADOS POR LOS CONDUCTOS TRONCALES Y DERIVADORES, Y POR EL ARROYO DEL GATO AGUAS ARRIBA DE 143 Y AGUAS ABAJO DEL FF.CC. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	103
TABLA 4-4.- CAUDALES MÁXIMOS EROGADOS, PARA CADA RECURRENCIA DE CÁLCULO, POR CADA UNO DE LOS CONDUCTOS TRONCALES Y DERIVADORES QUE APORTAN AL CANAL DEL ARROYO DEL GATO, Y CAUDALES DEL TÚNEL 1. FASE 3B.	103
TABLA 5-1.- PERSONAS HERIDAS Y FALLECIDAS SEGÚN NORMATIVA EUROPEA.	106
TABLA 5-2. PERSONAS AFECTADAS Y MUERTES ESPERABLES PARA LA FASE 1, SEGÚN LA VULNERABILIDAD POSIBLE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	115
TABLA 5-3. PERSONAS AFECTADAS Y MUERTES ESPERABLES PARA LA FASE 2, SEGÚN LA VULNERABILIDAD POSIBLE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	115
TABLA 5-4. PERSONAS AFECTADAS Y MUERTES ESPERABLES PARA LA FASE 3A, SEGÚN LA VULNERABILIDAD POSIBLE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	116
TABLA 5-5. PERSONAS AFECTADAS Y MUERTES ESPERABLES PARA LA FASE 3B, SEGÚN LA VULNERABILIDAD POSIBLE DEL ÁREA DE ESTUDIO.	116
TABLA 5-6. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE VIVIENDAS AFECTADAS PARA CADA FASE Y PARA CADA RECURRENCIA. PONDERACIÓN ANUAL DE VIVIENDAS.	117
TABLA A.1-1. VOLUMENES DE PRECIPITACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN DE LA TORMENTA. CABA.	303
TABLA A.1-2. VOLUMENES DE PRECIPITACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN DE LA TORMENTA. VALORES EXTREMOS.	303
TABLA A.1-3. PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA LEY I-D-R CABA	305
TABLA A.1-4. PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA LEY I-D-R DPOH PCIA. BS.AS.	305
TABLA A.1-5. VALORES MEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA LA CIUDAD DE LA PLATA. ROMANAZZI 2016.	306
TABLA A.1-6. PRECIPITACIONES EN LA CIUDAD DE LA PLATA. FCAYG – UNLP	311

TABLA A.2-1. DATOS DE CUENCAS Y SUPERFICIES PARA EL CONDUCTO DE CALLE 7, DESDE PLAZA ITALIA A 7 Y 32.	319
TABLA A.2-2. DATOS DE LOS CONDUCTOS BAJO CALLE 7 DESDE PLAZA ITALIA, CALLE 44, A CALLE 32.	320
TABLA A.2-3. DIMENSIONES DE LOS CONDUCTOS BAJO CALLE 7, DESDE CALLE 43 A CALLE 32.	320
TABLA A.3-1. PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ÁREA.	333
TABLA A.3-2. NIVEL DE SEVERIDAD S. SUFRI.	334
TABLA A.3-3. CATEGORÍAS EN FUNCIÓN DE LOS AVISOS O ALERTAS.	334
TABLA A.3-4. TASAS DE MORTALIDAD DE LA ESCORRENTÍA PLUVIAL. SUFRI.	334
TABLA A.3-5. ÍNDICES DE CORRECCIÓN DE TASAS DE MORTALIDAD POR VULNERABILIDAD POBLACIONAL (PENNING-ROWSELL ET AL., 2005).	335
TABLA A.3-6. COSTOS PORCENTUALES DE CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA, INCLUIDOS LOS IMPUESTOS	336
TABLA A.3-7. DAÑOS ECONÓMICOS EN FUNCIÓN DEL CALADO DEL AGUA EN CALLES.	337
TABLA A.3-8. CÁLCULO DEL DAÑO ECONÓMICO TOTAL PARA CADA FASE Y PARA CADA RECURRENCIA. PONDERACIÓN ANUAL DEL DAÑO ECONÓMICO.	337
TABLA A.3-9. CÁLCULO DEL DAÑO ECONÓMICO TOTAL DESTACANDO LA IMPLEMENTACIÓN DE COMPUERTAS EN 54.001 VIVIENDAS AFECTADAS, PARA CADA RECURRENCIA Y PONDERACIÓN ANUAL DEL DAÑO ECONÓMICO.	337
TABLA A.4-1. DAÑOS AL 2013 Y DAÑOS CON OBRAS REALIZADAS, CONTABILIZADOS Y PONDERADOS POR SU PROBABILIDAD.	349
TABLA A.4-2. DAÑOS ECONÓMICOS ATENUADOS POR LA COLOCACIÓN DE COMPUERTAS Y PONDERADOS	351
TABLA A.4-3. DAÑOS ECONÓMICOS COMPARADOS, SITUACIÓN ACTUAL Y CON RESERVORIOS	352
TABLA A.4-4. DAÑOS ECONÓMICOS COMPARADOS, SITUACIÓN ACTUAL Y CON TÚNELES	354

FIGURAS

FIGURA 1-1.- PRECIPITACIÓN ACUMULADA, OBTENIDA A PARTIR DE OBSERVACIONES REALIZADAS CON EL RADAR METEOROLÓGICO DE EZEIZA.	8
FIGURA 1-2.- HIETOGRAMA DEL DÍA 2 DE ABRIL DE 2013.	9
FIGURA 1-3.- PRINCIPALES CUENCAS URBANAS DEL PARTIDO DE LA PLATA.	9
FIGURA 2-1.- PLANO DE LA CIUDAD DE LA PLATA AL AÑO 1905 REALIZADO POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIEROS DE LA PROVINCIA. SECCIÓN HIDRÁULICA Y PUENTES Y CAMINOS. SUPERPUESTA LA MANCHA DEL 2 Y 3 DE ABRIL DE 2013.	15
FIGURA 2-2.- TRAZADO DE CUENCAS DE APOORTE A LOS 3 RESERVORIOS ARTEH BAJO ESTUDIO.	17
FIGURA 2-3.- HIDROGRAMAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL SISTEMA DE RESERVORIOS UBICADOS EN EL ARROYO DEL GATO, PARA TORMENTAS DE DIFERENTE RECURRENCIA.	18
FIGURA 2-4.- HIDROGRAMAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL RESERVORIO UBICADO EN EL ARROYO PÉREZ, EN 38 Y 143, PARA TORMENTAS DE DIFERENTE RECURRENCIA.	18
FIGURA 2-5.- ESQUEMA TEÓRICO DE LA ATENUACIÓN DE CAUDALES Y LAMINACIÓN POR INTERPOSICIÓN DE UNA ARTEH.	19
FIGURA 2-6.- ESQUEMA GENERAL DEL VERTEDERO Y ALCANTARILLAS EN LOS TERRAPLENES VIALES EXISTENTES.	19
FIGURA 2-7.- HUELLA HÍDRICA DENTRO DEL CICLO HIDROLÓGICO. ADAPTACIÓN PROPIA PARA ZONAS URBANAS DEL TRABAJO DE LA DRA. FALKENMARK (2009).	25
FIGURA 2-8.- PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA PARA LAS LLUVIAS ANALIZADAS (R = 2 AÑOS HASTA R = 500 AÑOS).	26
FIGURA 2-9.- CUADRO CONCEPTUAL DEL RIESGO DE DAÑOS POR INUNDACIÓN. LLUÍS RIBERA MASGRAU. 2003.	28
FIGURA 3-1.- CURVAS DE DAÑOS A VIVIENDAS POR ALTURA DE INUNDACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).	45
FIGURA 3-2.- PRESENTACIÓN DE LA 1º ETAPA DE OBRAS PARA LA CUENCA DEL ARROYO DEL GATO. MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.	47
FIGURA 3-3.- CROQUIS DE DISPOSICIÓN DE LOS TÚNELES PROPUESTOS.	48
FIGURA 4-1.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 25 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN AL AÑO 2013 FASE 1.	52
FIGURA 4-2.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 25 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN ACTUAL FASE 2.	52
FIGURA 4-3.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 25 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN CON RESERVORIOS FASE 3A.	53
FIGURA 4-4.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 25 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN CON TÚNELES FASE 3B.	53
FIGURA 4-5.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 100 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN AL AÑO 2013 FASE 1.	54

FIGURA 4-6.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 100 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN ACTUAL FASE 2.	54
FIGURA 4-7.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 100 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN CON RESERVORIOS FASE 3A.	55
FIGURA 4-8.- CAUDALES ESCURRIENDO POR CONDUCTOS Y CALLES, PARA UN EVENTO DE RECURRENCIA 100 AÑOS. 3:00 H DE INICIADA LA TORMENTA. SITUACIÓN CON TÚNELES FASE 3B.	55
FIGURA 4-9.- RED PLUVIAL EXISTENTE AL AÑO 2013 Y CON LOS DERIVADORES INCORPORADOS A LA CANALIZACIÓN DEL ARROYO DEL GATO. ZONAS DE LA RED MAYOR EN ESTUDIO PARTICULARIZADO.	57
FIGURA 4-10.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 3 Y 515, PRÓXIMA AL ARROYO DEL GATO. R= 25 AÑOS. LOS RESULTADOS PARA LA FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013 ES LA MÁS CRÍTICA, COINCIDIENDO LOS RESULTADOS PARA EL RESTO DE LAS FASES.	58
FIGURA 4-11.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 3 Y 515, PRÓXIMA AL ARROYO DEL GATO. R= 100 AÑOS. LOS RESULTADOS PARA LA FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013 ES LA MÁS CRÍTICA, COINCIDIENDO LOS RESULTADOS PARA EL RESTO DE LAS FASES.	59
FIGURA 4-12.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 9 Y 516, PRÓXIMA AL ARROYO DEL GATO, AGUAS ARRIBA DE LA ANTERIOR. R= 25 AÑOS. NO HAY CAMBIOS EN LOS RESULTADOS, CUALQUIERA SEA LA FASE ESTUDIADA. PARA ESTA RECURRENCIA TODOS LOS NIVELES SON PRÁCTICAMENTE IGUALES.	59
FIGURA 4-13.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 9 Y 516, PRÓXIMA AL ARROYO DEL GATO, AGUAS ARRIBA DE LA ANTERIOR. R= 100 AÑOS. PARA ESTA RECURRENCIA ES MÁS EVIDENTE EL EXCESO DE AGUA EN CALLES Y SE DIFERENCIAN LOS RESULTADOS SEGÚN LA FASE ESTUDIADA.	60
FIGURA 4-14.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 9 Y 523 BIS. R= 25 AÑOS. PARA ESTA RECURRENCIA LOS NIVELES SON SEMEJANTES PARA TODAS LAS FASES ESTUDIADAS.	60
FIGURA 4-15.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 9 Y 523 BIS. R= 100 AÑOS. LOS NIVELES SE DIFERENCIAN SEGÚN LAS FASES MOSTRANDO MAYOR IMPACTA LA FASE 3B CON TÚNELES.	61
FIGURA 4-16.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 67 Y 27. R= 25 AÑOS. SE OBSERVA EL CAMBIO POR LA EJECUCIÓN DE LA FASE 2, NO SE OBSERVAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE LOS ARTEH Y SÍ SE PRESENTAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE TÚNELES.	62
FIGURA 4-17.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 67 Y 27. R= 100 AÑOS. SE OBSERVA EL CAMBIO POR LA EJECUCIÓN DE LA FASE 2, NO SE OBSERVAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE LOS ARTEH Y SÍ SE PRESENTAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE TÚNELES.	63
FIGURA 4-18.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 61 Y 22. R= 25 AÑOS. SE OBSERVA EL CAMBIO POR LA EJECUCIÓN DE LA FASE 2, NO SE OBSERVAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE LOS ARTEH Y SÍ SE PRESENTAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE TÚNELES.	63
FIGURA 4-19.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 61 Y 22. R= 100 AÑOS. SE OBSERVA EL CAMBIO POR LA EJECUCIÓN DE LA FASE 2, NO SE OBSERVAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE LOS ARTEH Y SÍ SE PRESENTAN CAMBIOS POR IMPLEMENTACIÓN DE TÚNELES.	64
FIGURA 4-20.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 57 Y 17. R= 25 AÑOS. LOS CAMBIOS OBSERVADOS EN BASE A LOS RESULTADOS MUESTRAN CAMBIOS EN EL	

VOLUMEN DE AGUA EXCEDENTE, AUNQUE NO EN LOS MÁXIMOS NIVELES ALCANZADOS.	64
FIGURA 4-21.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 57 Y 17. R= 100 AÑOS. LOS CAMBIOS OBSERVADOS EN BASE A LOS RESULTADOS MUESTRAN CAMBIOS EN EL VOLUMEN DE AGUA EXCEDENTE, AUNQUE NO EN LOS MÁXIMOS NIVELES ALCANZADOS.	65
FIGURA 4-22.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 38 Y 132. R= 25 AÑOS. NO SE OBSERVAN CAMBIOS RELEVANTES NI EN NIVELES NI VOLÚMENES.	66
FIGURA 4-23.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 38 Y 132. R= 100 AÑOS. EL MAYOR IMPACTO CORRESPONDE A LA FASE 2.	66
FIGURA 4-24.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 17 Y 34. R= 25 AÑOS. LOS TÚNELES APARECEN SACANDO EL AGUA EXCEDENTE DE CALLE A MEDIDA QUE LA INFLUENCIA DE SE HACE NOTORIA.	67
FIGURA 4-25.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 17 Y 34. R= 100 AÑOS. A MAYOR RECURRENCIA SE HACE MÁS EVIDENTE EL EXCESO DE AGUA SUPERFICIAL Y LAS BONDADDES DE LAS OBRAS DE TÚNELES.	67
FIGURA 4-26.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 18 Y 531. R= 25 AÑOS. NO SE OBSERVAN CAMBIOS EN LOS ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES ENTRE LAS DIFERENTES FASES ANALIZADAS.	68
FIGURA 4-27.- ALTURAS DE AGUA EN CALLE 18 Y 531. R= 100 AÑOS.	68
FIGURA 4-28.- MAPA DE PROFUNDIDADES PARA ALTURAS DEL AGUA DE 0,30 M, 0,60M, 1,05 M, 1,65 M Y MAYORES. R= 25 AÑOS. FASE 2. SITUACIÓN ACTUAL.	70
FIGURA 4-29.- MAPA DE PROFUNDIDADES PARA ALTURAS DEL AGUA DE 0,30 M, 0,60M, 1,05 M, 1,65 M Y MAYORES. R= 25 AÑOS. FASE 3A, CON RESERVORIOS.	71
FIGURA 4-30.- MAPA DE PROFUNDIDADES PARA ALTURAS DEL AGUA DE 0,30 M, 0,60M, 1,05 M, 1,65 M Y MAYORES. R= 25 AÑOS. FASE 3B, CON TÚNELES.	72
FIGURA 4-31.- RED PLUVIAL EXISTENTE AL AÑO 2013 Y CON LOS DERIVADORES INCORPORADOS A LA CANALIZACIÓN DEL ARROYO DEL GATO.	73
FIGURA 4-32.- RED PLUVIAL EXISTENTE AL AÑO 2013 Y CON LOS DERIVADORES INCORPORADOS A LA CANALIZACIÓN DEL ARROYO DEL GATO FASE 2.	74
FIGURA 4-33.- PERFIL LONGITUDINAL DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE PLAZA MORENO HASTA AVENIDA 526, CON SUS VARIADAS SECCIONES	76
FIGURA 4-34.- PERFIL LONGITUDINAL DEL CONDUCTO DE CALLE 14 HASTA AVENIDA 526 Y TRAMO FINAL POR CALLE 11, HASTA LA DESEMBOCADURA, CON SUS VARIADAS SECCIONES.	76
FIGURA 4-35.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	77
FIGURA 4-36.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	77
FIGURA 4-37.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	77
FIGURA 4-38.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL, CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	78
FIGURA 4-39.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	78

FIGURA 4-40.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	79
FIGURA 4-41.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	79
FIGURA 4-42.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO FINAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO DESDE CALLE 532 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	79
FIGURA 4-43.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	80
FIGURA 4-44.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	80
FIGURA 4-45.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	80
FIGURA 4-46.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	81
FIGURA 4-47.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	81
FIGURA 4-48.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	81
FIGURA 4-49.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	82
FIGURA 4-50.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11 DESDE 532 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	82
FIGURA 4-51.- PERFIL LONGITUDINAL DEL CONDUCTO DE CALLE 25 HASTA SU DESEMBOCADURA.	83
FIGURA 4-52.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO DEL FINAL DEL TRAMO QUE VA DESDE CALLE 25 Y 36 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	83
FIGURA 4-53.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO DEL FINAL DEL TRAMO QUE VA DESDE CALLE 25 Y 36 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	84
FIGURA 4-54.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO DEL FINAL DEL TRAMO QUE VA DESDE CALLE 25 Y 36 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	84
FIGURA 4-55.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO TRONCAL, EN UN NODO DEL FINAL DEL TRAMO QUE VA DESDE CALLE 25 Y 36 HASTA SU DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	84
FIGURA 4-56.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR TRONCAL DE AVENIDA 25. R= 100 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013. SE REPRESENTA EL NODO PREVIO A SU DESEMBOCADURA.	85

FIGURA 4-57.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR TRONCAL DE AVENIDA 25. R= 100 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL. SE REPRESENTA EL NODO PREVIO A SU DESEMBOCADURA.	85
FIGURA 4-58.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR TRONCAL DE AVENIDA 25. R= 100 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS. SE REPRESENTA EL NODO PREVIO A SU DESEMBOCADURA.	85
FIGURA 4-59.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR TRONCAL DE AVENIDA 25. R= 100 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES. SE REPRESENTA EL NODO PREVIO A SU DESEMBOCADURA.	86
FIGURA 4-60.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	86
FIGURA 4-61.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	87
FIGURA 4-62.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	87
FIGURA 4-63.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	87
FIGURA 4-64.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	88
FIGURA 4-65.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	88
FIGURA 4-66.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	88
FIGURA 4-67.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25 DESDE 36 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	89
FIGURA 4-68.- PERFIL LONGITUDINAL DEL CONDUCTO DE CALLE 30 DESDE SU INICIO PRINCIPAL HASTA SU DESEMBOCADURA.	89
FIGURA 4-69.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 25 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	90
FIGURA 4-70.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 25 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	90
FIGURA 4-71.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 25 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	90
FIGURA 4-72.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 25 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	91
FIGURA 4-73.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 100 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	91

FIGURA 4-74.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 100 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	91
FIGURA 4-75.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 100 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	92
FIGURA 4-76.- CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA DENTRO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30. R= 100 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES. NODO PREVIO A SU DESCARGA AL ARROYO DEL GATO.	92
FIGURA 4-77.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	93
FIGURA 4-78.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	93
FIGURA 4-79.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	93
FIGURA 4-80.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 25 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	94
FIGURA 4-81.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	94
FIGURA 4-82.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	94
FIGURA 4-83.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	95
FIGURA 4-84.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30 DESDE 531 A LA DESEMBOCADURA. R= 100 AÑOS. HORA 3:30. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	95
FIGURA 4-85.- ARROYO DEL GATO. TRAMO DE ESTUDIO DESDE AVENIDA 143 HASTA PUENTE FF.CC. GRAL. ROCA.	96
FIGURA 4-86.- CAUCE DEL ARROYO DEL GATO, AGUAS ABAJO DEL PUENTE DEL FF.CC. ROCA AL AÑO 2013. CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA.	97
FIGURA 4-87.- CAUCE DEL ARROYO DEL GATO, AGUAS ARRIBA DEL PUENTE DEL FF.CC. ROCA AL AÑO 2013. CAUDALES Y TIRANTES DE AGUA.	97
FIGURA 4-88.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 25 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	98
FIGURA 4-89.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 25 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	98
FIGURA 4-90.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 25 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	99
FIGURA 4-91.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 25 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	99
FIGURA 4-92.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 100 AÑOS. FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	99
FIGURA 4-93.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 100 AÑOS. FASE 2, SITUACIÓN ACTUAL.	100

FIGURA 4-94.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 100 AÑOS. FASE 3A, SITUACIÓN CON RESERVORIOS.	100
FIGURA 4-95.- CAUDALES Y TIRANTES AGUAS ARRIBA VIADUCTO FERROVIARIO. R= 100 AÑOS. FASE 3B, SITUACIÓN CON TÚNELES.	100
FIGURA 4-96.- CAUDALES MÁXIMOS EROGADOS POR CONDUCTOS TRONCALES. FASES 1, 2, 3A Y 3B EN FUNCIÓN DE LA PROBABILIDAD.	101
FIGURA 4-97.- CAUDALES MÁXIMOS EROGADOS AGUAS ARRIBA 143 Y AGUAS ABAJO FF.CC. EN ARROYO DEL GATO. FASES 1, 2, 3A Y 3B EN FUNCIÓN DE LA PROBABILIDAD.	101
FIGURA 4-98.- CAUDALES MÁXIMOS EROGADOS POR CONDUCTOS DERIVADORES ACTUALES (FASE 2). FASES 2, 3A Y 3B EN FUNCIÓN DE LA PROBABILIDAD.	102
FIGURA 5-1. NIVELES DE AGUA PARA LA TORMENTA DEL DÍA 2 DE ABRIL DE 2013. FASE 1.	107
FIGURA 5-2. VELOCIDADES DEL AGUA EN CALLES PARA LA TORMENTA DEL DÍA 2 DE ABRIL DE 2013. FASE 1.	108
FIGURA 5-3. SEVERIDAD AGUA EN CALLES PARA LA TORMENTA DEL DÍA 2 DE ABRIL DE 2013. FASE 1.	109
FIGURA 5-4. NIVELES DE AGUA PARA LA TORMENTA DE R= 50 AÑOS. FASE 2. SITUACIÓN ACTUAL.	111
FIGURA 5-5. SEVERIDAD AGUA EN CALLES PARA LA TORMENTA DE R= 50 AÑOS. FASE 2. SITUACIÓN ACTUAL.	112
FIGURA 5-6. NIVELES DE AGUA PARA LA TORMENTA DE R= 50 AÑOS. FASE 3B. SITUACIÓN CON TÚNELES.	113
FIGURA 5-7. SEVERIDAD AGUA EN CALLES PARA LA TORMENTA DE R= 50 AÑOS. FASE 3B. SITUACIÓN CON TÚNELES.	114
FIGURA 5-8. CURVAS DE DAÑOS ANUALIZADOS Y CURVAS DE DAÑOS PONDERADOS, PARA LA SITUACIÓN AL 2013, FASE 1 Y PARA LA SITUACIÓN ACTUAL FASE 2.	118
FIGURA 5-9. CURVAS DE DAÑOS ANUALIZADOS Y CURVAS DE DAÑOS PONDERADOS, PARA LA SITUACIÓN ACTUAL FASE 2 Y LA SITUACIÓN CON RESERVORIOS FASE 3A.	118
FIGURA 5-10. CURVAS DE DAÑOS ANUALIZADOS Y CURVAS DE DAÑOS PONDERADOS, PARA LA SITUACIÓN ACTUAL FASE 2 Y LA SITUACIÓN CON TÚNELES FASE 3B.	119
FIGURA 6-1. RELACIÓN COSTO- BENEFICIO PARA LAS OBRAS EJECUTADAS Y DAÑOS EVITADOS PARA PERÍODOS DE AMORTIZACIÓN DE 20 Y 50 AÑOS.	125
FIGURA 6-2. RELACIÓN COSTO- BENEFICIO, SITUACIÓN FASE 2 Y FASE 3A CON RESERVORIOS, PARA UN PERÍODO DE AMORTIZACIÓN DE LAS OBRAS DE 50 AÑOS Y 20 AÑOS. PARA OBTENER UNA TIR DEL 5% ES NECESARIO QUE LOS COSTOS NO SUPEREN LOS U\$D 300.000	127
FIGURA 6-3. PROFUNDIDADES ALCANZADAS POR EL AGUA. SITUACIÓN ACTUAL FASE 2. RECURRENCIA 25 AÑOS.	128
FIGURA 6-4. PROFUNDIDADES ALCANZADAS POR EL AGUA. SITUACIÓN CON RESERVORIOS FASE 3A. RECURRENCIA 25 AÑOS.	129
FIGURA 6-5. SEVERIDADES EN LA CUENCA. SITUACIÓN ACTUAL FASE 2. RECURRENCIA 25 AÑOS.	130
FIGURA 6-6. SEVERIDADES EN LA CUENCA. SITUACIÓN CON RESERVORIOS FASE 3A. RECURRENCIA 25 AÑOS.	131
FIGURA 6-7. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA LAS OBRAS EJECUTADAS Y DAÑOS EVITADOS CON TÚNELES PARA PERÍODOS DE AMORTIZACIÓN DE 20 Y 50 AÑOS.	133
FIGURA 6-8. MAPA DE PROFUNDIDADES, SITUACIÓN ACTUAL, FASE 2 PARA LA RECURRENCIA DE 50 AÑOS.	134

FIGURA 6-9. MAPA DE PROFUNDIDADES, SITUACIÓN CON TÚNELES, FASE 3B PARA LA RECURRENCIA DE 50 AÑOS.	135
FIGURA 6-10. MAPA DE SEVERIDADES, SITUACIÓN ACTUAL, FASE 2 PARA LA RECURRENCIA DE 50 AÑOS.	136
FIGURA 6-11. MAPA DE SEVERIDADES, SITUACIÓN CON TÚNELES, FASE 3B PARA LA RECURRENCIA DE 50 AÑOS.	137
FIGURA 6-12. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO CON VARIANTE DE LA FASE 2, CON COMPUERTAS. INVERSIÓN JUSTIFICABLE PARA OBTENER UNA TIR 10%.	138
FIGURA 7-1. IMÁGENES DE VIVIENDAS RESILIENTES EN ZONAS INUNDABLES, VARIABLES EN ALTURA.	145
FIGURA 7-2. EJEMPLO DE COMPUERTAS INSTALADAS EN EDIFICIOS, RESIDENCIAS Y COMERCIOS PARA EVITAR EL INGRESO DE AGUA DE INUNDACIÓN.	145
FIGURA 7-3. MAPA DE PROFUNDIDADES EN CALLES > 60 CM PARA VARIAS RECURRENCIAS. SITUACIÓN ACTUAL. FASE 2 Y SECTORES DE ESTUDIO.	148
FIGURA A.1-1.- HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN DE RECURRENCIA = 2 AÑOS. DURACIÓN 3 HORAS.	302
FIGURA A.1-2.- HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN DE RECURRENCIA = 500 AÑOS. DURACIÓN 6 HORAS.	303
FIGURA A.1-3.- VOLUMEN DEL MÁXIMO INTERVALO DE LOS HIETOGRAMAS DE 5 MINUTOS.	304
FIGURA A.1-4.- VOLÚMENES DE AGUA PRECIPITADOS, PARA DURACIONES DE 3 HORAS, SEGÚN DISTINTAS LEYES IDR.	307
FIGURA A.1-5.- EVENTO PLUVIAL DEL DÍA 27 DE ENERO DE 2002. TOTAL DE AGUA PRECIPITADA = 123,4 MM.	307
FIGURA A.1-6.- EVENTO PLUVIAL DEL DÍA 11 DE NOVIEMBRE DE 2003. TOTAL DE AGUA PRECIPITADA = 133,8 MM.	308
FIGURA A.1-7.- EVENTO PLUVIAL DE LOS DÍAS 28 Y 29 DE FEBRERO DE 2008. TOTAL DE AGUA PRECIPITADA = 167,0 MM HASTA LAS 24:00 HORAS DEL DÍA 28 DE FEBRERO Y 240,0 MM ACUMULADOS HASTA LAS 4:15 HORAS DEL DÍA 29 DE FEBRERO DE 2008.	308
FIGURA A.1-8.- EVENTO PLUVIAL DEL DÍA 2 DE ABRIL DE 2013. TOTAL DE AGUA PRECIPITADA = 392,10 MM.	309
FIGURA A.1-9.- AJUSTE REALIZADO PARA LA PMP EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN. ING. ROMANAZZI, P. (2015).	309
FIGURA A.1-10.- HIETOGRAMA DE LA PMP DE 24, 12 Y 6 HORAS DE DURACIÓN.	310
FIGURA A.1-11. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES PARA LA CIUDAD DE LA PLATA. FUENTE: FCAYG - UNLP	312
FIGURA A.1-12. VOLÚMENES DE PRECIPITACIÓN DE LAS LLUVIAS SINTÉTICAS MODELADAS + 2 DE ABRIL DE 2013 + PMP.	313
FIGURA A.2-1. CAPTURA DE PANTALLA DEL MODELO MATEMÁTICO SWMM.	318
FIGURA A.2-2. PERFIL LONGITUDINAL DEL RAMAL DE CALLE 7, DESDE CALLE 43 A CALLE 32.	321
FIGURA A.2-3. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO PARA UNA TORMENTA DETERMINADA.	321
FIGURA A.2-4. FORMATO DE TEXTO DE LOS DATOS DE INGRESO AL MODELO MATEMÁTICO. ARCHIVO .INP.	322
FIGURA 0-5. FORMATO DE TEXTO DE LOS RESULTADOS. ARCHIVOS .RPT.	323
FIGURA A.2-6. SECCIÓN CANALIZADA DE TOLOSA. SITUACIÓN ACTUAL. TRAMO MEDIO.	324
FIGURA A.2-7. SECCIÓN CANALIZADA DEL ARROYO DEL GATO. SITUACIÓN ACTUAL. TRAMO SUPERIOR.	325
FIGURA A.2-8. PUENTES MODELADOS CON EL HEC-RAS.	325

FIGURA A.2-9. PERFILES LONGITUDINALES PARA DISTINTAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ESCURRIMIENTOS.	326
FIGURA A.2-10. PERSPECTIVA DE LOS RESULTADOS PARA DETERMINADA RECURRENCIA.	326
FIGURA A.2-11. CAPTURA DE PANTALLA CON TABLA DE RESULTADOS	327
FIGURA A.3-1. DIAGRAMA DE FLUJO ADAPTADO DEL TRABAJO SUFRI	332
FIGURA A.3-2. DIAGRAMA DE FLUJO ADAPTADO DEL TRABAJO SUFRI.	336
FIGURA A.3-3. 7 Y 32 – ANEGAMIENTO. SOLO LA ESQUINA, DISMINUYENDO HACIA 33	338
FIGURA A.3-4. DG 74 Y 11 – ANEGAMIENTO PARCIAL < 15 CM	338
FIGURA A.3-5. 11 Y 48 – ANEGAMIENTO PARCIAL < 15 CM	339
FIGURA A.3-6. ALTURAS DE AGUA DEL ORDEN DE LOS 40 CM.	339
FIGURA A.3-7. ALTURAS DE AGUA SUPERIORES A LOS 60 CM	340
FIGURA A.3-8. ALTURAS DE AGUA MAYORES A 120 CM.	340
FIGURA A.3-9. CONSECUENCIAS DE ALTURAS MAYORES A LOS 60/80 CM. 3 DE ABRIL DE 2013.	341
FIGURA A.3-10. NIVELES DE AGUA INTERIORES AL MOMENTO DE LA CRECIDA. LOS NIVELES FUERON SUBIENDO.	341
FIGURA A.3-11. MARCA DE AGUA DE LOS NIVELES ALCANZADOS POR LAS AGUAS, SUPERANDO ALTURA DE MESAS.	342
FIGURA A.3-12. SE OBSERVA EN EL EXTERIOR ARRASTRE DE ESCOMBROS.	342
FIGURA A.3-13. EN MUCHOS CASOS, EXISTEN CONEXIONES ENTRE LAS INSTALACIONES PLUVIALES Y LAS CLOACALES CON RIESGO SANITARIO	343
FIGURA A.4-1. COSTOS – BENEFICIOS DE LAS OBRAS QUE DEFINEN A LA SITUACIÓN ACTUAL.	347
FIGURA A.4-2. DAÑOS MEDIOS ANUALES DMA Y DAÑOS MEDIOS ANUALES ESPERADOS DMAE SITUACIÓN FASE2 Y FASE 1.	348
FIGURA A.4-3. CAN E IAN EN FUNCIÓN DE LA TASA DE INTERÉS PARA LAS OBRAS EJECUTADAS QUE DEFINEN A LA SITUACIÓN ACTUAL FASE 2 EN COMPARACIÓN CON LA FASE 1, SITUACIÓN AL AÑO 2013.	348
FIGURA A.4-4. DAÑOS MEDIOS ANUALES Y ESPERADOS AL 2013 Y CON LA SITUACIÓN ANUAL.	350
FIGURA A.4-5. RELACIÓN COSTO- BENEFICIO POR LA IMPLEMENTACIÓN DE COMPUERTAS. PERÍODOS DE AMORTIZACIÓN DE 20 A 50 AÑOS.	350
FIGURA A.4-6. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA LOS RESERVORIOS.	352
FIGURA A.4-7. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA LOS TÚNELES.	353
FIGURA A.4-8. DAÑOS MEDIOS ANUALES DMA Y DAÑOS MEDIOS ANUALES ESPERADOS DMAE PARA LA FASE 3B CON TÚNELES	354
FIGURA 0-1. TRAZADO DE LA CIUDAD DE LA PLATA SUPERPUESTO CON LA OBRA DEL JUICIO FINAL.	358

PARTE A

El tiempo por su condición irreversible y unidireccional constituye una de las obsesiones de Borges; para conjurarlo, ensaya la reivindicación de la eternidad, primero; la del instante, después.

Julián Serna Arango (Borges y el Tiempo).

PRÓLOGO DE LA TESIS DE MAESTRÍA

El evento pluvial de los días 2 y 3 de abril de 2013, de características extraordinarias, generó en gran parte de la sociedad, y para este autor en particular, distintas etapas en la vivencia del suceso, desde lo humano hasta lo profesional.

Desde el punto de vista de la ingeniería, se observaron evoluciones en los criterios de abordar los problemas generales de inundaciones, intentando, de alguna forma, evitar riesgos y gestionarlos.

En lo humano, estas vivencias pasaron en primer lugar por la sorpresa del fenómeno meteorológico, de características nunca antes vividas: 392,1 mm precipitados en 24 horas, y fue el análisis de su probabilidad la primera de las etapas transitadas.

El análisis de este fenómeno continuó con las situaciones derivadas de la inundación, anegamientos y peligros en muchos barrios o zonas de la ciudad de características sociales y económicas variadas, con sus implicancias directas sobre la resiliencia de la sociedad afectada. Esta etapa duró varios días en los cuales se fueron recabando historias, anécdotas y evaluación de fallas en los procesos de atender a las necesidades de la gente afectada; la tormenta no hizo diferencias de clases a la hora de la afectación.

Posteriormente, ya desde el lado profesional, la etapa siguiente transitó por analizar qué tipos de obras se requerirían para evitar causas o consecuencias de las inundaciones, y aquí se abrieron muchos otros interrogantes sobre los criterios clásicos de proyectos, si eran adecuados, qué indicadores definían mejor las bondades de un proyecto, cuáles eran las recurrencias de lluvias que definían un proyecto, o qué seguridades garantizaban, y dadas las urgencias en brindar una respuesta a la sociedad, la provincia de Buenos Aires, en el año 2014 licitó obras, como la ampliación de la capacidad de descarga del arroyo del Gato, sin abordar grandes discusiones alrededor del tema: se adoptó una recurrencia conservativa para el diseño. Por lo tanto, las obras y sus proyectos se habían iniciado, quedando para la etapa siguiente evaluar si estas obras ayudarían a evitar daños en la población, qué tipos de daños, y los umbrales de éstos. Estos análisis debían contemplar indirectamente los períodos de amortización de las obras, de forma que se pueda valorar la justificación económica. Sumada a las expectativas depositadas en ellas por parte de los habitantes actuales y futuros de la ciudad.

La sociedad reclamaba, sin base científica, desde obras mayores hasta compensaciones, desde lo social a lo económico, desde la desidia y abandono a la seguridad, y en la búsqueda de responsables. En definitiva, conocer los riesgos a los que la sociedad estaba y estará expuesta y los planes de contingencia necesarios para mitigar los efectos de estos eventos de inundación es hoy un requisito indispensable de todo proyecto aplicable a la Gestión de Cuencas y en particular a las cuencas urbanas, muy vinculado con los Usos del Suelo y el Ordenamiento Territorial.

Este estudio pretende rigurosidad y seriedad, y estar encuadrado dentro de la Gestión de Riesgos, lo cual aparece como un requisito urgente de llevar adelante, y sin dudas, una forma de atender la Gestión de la Cuenca: se requiere el conocimiento de los riesgos a los que se encuentra expuesta derivados de las posibles amenazas de lluvias, con sus cuantificaciones y valoraciones, estableciendo la situación actual como punto de base y para la cual se debe plantear la gestión, en forma integral, y evaluando a partir de este el dinamismo de la cuenca.

Existen normativas para el análisis y valoración del riesgo por inundaciones, principalmente las correspondientes a la Comunidad Europea (hay otras como la australiana), que fueron usadas para su calificación y cuantificación.

Los fallecidos en esta parte de nuestra historia deben ser motivo suficiente, por el respeto que merecen, para seguir impulsando medidas que tiendan a evitar futuros riesgos, más allá de las obras que se puedan llevar adelante.

EL FACTOR TIEMPO

Por último, este autor quiere resaltar la variedad de los tiempos sobre los que se debe trabajar, desde la fugacidad de un evento pluvial, los tiempos de alerta y llegada de los picos de crecida, según las zonas afectadas, las urgencias de una respuesta frente a un riesgo, pasando luego por los tiempos para realizar un adecuado proyecto, períodos de construcción y vida útil de las obras, y pasar por el dinamismo con que cambia el paisaje urbano; el tiempo asociado al cambio en los criterios de análisis, que permiten gestionar los riesgos pretendiendo, al menos, no ir detrás de ellos.

El tiempo de análisis podrá ser una sucesión de instantes o de largo plazo.

La percepción y expectativas de la gente también cambia con el tiempo, según pasa la vida. Hay una evolución permanente en las miradas y actitudes sobre los umbrales y tolerancias a aceptar riesgos.

El desafío es cómo implementar un Plan de Gestión de Riesgos que se anticipe a los tiempos involucrados en este trabajo, dado el escaso tiempo entre las alertas y la llegada de los picos de crecida: entre que comienza un evento pluvial y suceden los fenómenos en estudio. Entre que ocurre un episodio y se recupera la sociedad, el tiempo de resiliencia.

Este trabajo tuvo de base a otros estudios realizados, como han sido los Proyectos de Investigación Orientados llevados adelante por la UNLP y el CONICET, con el fin de conocer lo sucedido y aprender, para evitar desconciertos en el futuro. Y otros estudios llevados adelante para conocer la red pluvial existente en el Partido de La Plata.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

“¿Qué es, pues, el tiempo? Si nadie me lo pregunta, lo sé; pero si quiero explicárselo al que me lo pregunta, no lo sé. Lo que sí digo sin vacilación es que sé que si nada pasase no habría tiempo pasado; y si nada sucediese, no habría tiempo futuro; y si nada existiese, no habría tiempo presente. Pero aquellos dos tiempos, pretérito y futuro, ¿cómo pueden ser, si el pretérito ya no es y el futuro todavía no es? Y en cuanto al presente, si fuese siempre presente y no pasase a ser pretérito, ya no sería tiempo, sino eternidad. Si, pues, el presente, para ser tiempo es necesario que pase a ser pretérito, ¿cómo decirnos que existe éste, cuya causa o razón de ser está en dejar de ser, de tal modo que no podemos decir con verdad que existe el tiempo sino en cuanto tiende a no ser?”.

San Agustín de Hipona (“¿Qué es el tiempo?”, Confesiones, XI, XIV, 17).

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN AL PLAN DE TESIS

El drenaje natural de la cuenca urbana de la ciudad de La Plata tiene un funcionamiento característico que fue modificado con la implementación de medidas estructurales que pretendieron mejorar el desarrollo de las actividades diarias de la ciudad. Fueron obras proyectadas y ejecutadas en un determinado tiempo, pretérito, previendo cambios futuros en la cuenca, según los criterios de usos del suelo y ordenamiento territorial de la época.

Estas obras consistentes en la red menor de drenaje tuvieron y tienen actualmente una capacidad limitada de saneamiento por lo cual, para eventos pluviales que exceden dicha capacidad, la cuenca superficial complementa el drenaje, con la diferencia que estos eventos tienen una probabilidad de ocurrencia mayor a la prevista de acuerdo a los procesos de urbanización e impermeabilización ocurridos. Los volúmenes excedentes a los de proyecto generan inundaciones con un riesgo asociado a la probabilidad del evento; y este riesgo es el que debe ser gestionado de manera eficiente pretendiendo minimizar los costos en inversiones en medidas estructurales, mejorando la adopción y eficiencia de medidas no estructurales, tales como los planes de alerta y del propio ordenamiento urbano.

La normativa europea fundamenta Estrategias para la Gestión del Riesgo de Inundación Urbana (Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara, 2011), que permitirían cuantificar los riesgos para abordar los planes de emergencias y contingencias dentro de la ciudad, atendiendo a todo un rango de lluvias desde recurrencias variadas hasta la Precipitación Máxima Probable, de acuerdo a los principios en la Gestión de los Riesgos.

1.2 INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN PRECEDENTE (METEOROLOGÍA)

Entre los días 2 y 3 de abril de 2013 se precipitó sobre la ciudad de La Plata una tormenta de características inusuales: cayeron 392,1 mm (Sabbione, 2013) a lo largo del día, concentrando su mayor intensidad durante 2 horas en las cuales precipitaron 225 mm.

Dicho evento pluvial fue inédito, al menos no se cuenta con registros posteriores a la fecha de fundación de la ciudad de La Plata, aunque si los hay de magnitudes importantes, que hoy en día generarían grandes trastornos al funcionamiento diario de la ciudad.

En sucesivas imágenes del radar de Ezeiza se observó que las celdas de tormenta no mostraron un desplazamiento importante, lo cual concluyó que se estaban regenerando siempre sobre la zona, favoreciendo con ello la persistencia de las lluvias

en la región. Si bien el área afectada por las precipitaciones más intensas (según la información del radar) se extendió formando una franja con orientación N-S desde el límite entre Berisso y Ensenada, y hacia el partido de La Plata, cerca de las 20:00 h se desarrolló una celda de tormenta intensa sobre la ciudad de La Plata, la que se mantuvo allí por, aproximadamente, 2 horas.

Figura 1-1.- Precipitación acumulada, obtenida a partir de observaciones realizadas con el Radar meteorológico de Ezeiza.

La Figura 1.1 presenta la acumulación de precipitación realizada entre las 16:00 y las 23:00 horas del día 2 de abril de 2013. El contorno azul corresponde al valor de 40 mm. El espaciado es cada 20 mm. Corresponde al Informe del SMN sobre el evento correspondiente al 2 de abril de 2013.

La Figura 1.2 muestra el hietograma registrado en el Observatorio Astronómico de la UNLP, cuyo registro permite anticipar una saturación del suelo con la precipitación ocurrida durante las horas de la mañana, y a partir de las 16:00 horas comenzó una precipitación que fue acumulando 38,60 mm hasta las 17:00 horas y 146,90 mm acumulados hasta las 18:00 horas. Este volumen de agua excede la capacidad de los conductos quedando el agua en superficie. El resto del agua vespertina acumuló los 370,30 mm.

Figura 1-2.- Hietograma del día 2 de abril de 2013.

La Figura 1-3 muestra a las principales cuencas urbanas del partido de La Plata, correspondientes a los arroyos del Gato y Maldonado.

Figura 1-3.- Principales cuencas urbanas del partido de La Plata.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y ALCANCES

EL RIESGO COMO GESTIÓN DE PROYECTO

Si no quieres repetir el pasado, estúdialo.

Baruch Spinoza (1632-1677) Filósofo holandés

2 OBJETIVOS Y ALCANCES

2.1 OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO DE TESIS

El objetivo de la tesis fue el análisis Integral de la red de drenaje pluvial de la ciudad de La Plata, tanto la red menor de drenaje (conductos) como la red mayor (calles), como concepto de la Gestión de Cuencas, y a partir de allí y en base a su evaluación, se abarcó el estudio del Riesgo de Inundación en la cuenca urbana, derivado fundamentalmente del evento antecedente, que mostró la falta de análisis de etapas que se deben contemplar para los Planes Maestros de Drenaje Urbano y en particular para eventos no abordados con las medidas estructurales.

Como nuevo objetivo principal se propone plantear la Gestión del Riesgo de Inundación para la ciudad para la situación actual, con un conocimiento completo de cómo es el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca urbana y del cauce receptor de las aguas, y conocer los daños derivados de otros eventos diferentes a los de diseño (situación actual) con la obras licitadas y ya terminadas, con sus probabilidades asociadas, y plantear la peligrosidad del territorio, la vulnerabilidad de la población y de la infraestructura existente.

Este conocimiento permitió calificar y cuantificar los riesgos derivados de la limitación de las obras estructurales existentes, y considerar las medidas no estructurales necesarias para su mitigación y/o contingencia.

Una característica particular de esta cuenca urbana es el bajo tiempo de concentración de los volúmenes de agua pluvial, la respuesta hidrológica de la cuenca, de 2 a 3 horas máximo, que exige que los tiempos de alerta sean extremadamente cortos y deberían anticiparse a los eventos críticos. En forma local, y para lluvias de recurrencias medias, los anegamientos en calles comienzan a los 30 minutos del inicio de las lluvias.

2.2 ALCANCES DE LA TESIS

Este trabajo de Tesis tuvo alcances específicos para obtener el conocimiento del objetivo perseguido, de conocer la cuenca urbana y su respuesta.

Los alcances se estudiaron a través de fases o etapas desglosadas en subproductos.

- Fase 1.- Situación existente de la cuenca y de la infraestructura de la ciudad al 2 de abril de 2013.
- Fase 2.- Situación actual, con el plan de obras en ejecución, al año 2018.

- Fase 3.- Planteo de medidas estructurales como Reservorios de Atenuación de Excedentes Hídricos o Túneles
- Fase 4.- Planteo de medidas no estructurales (desde un punto de vista teórico)
- Fase 5.- Análisis y Plan de Gestión del Riesgo de Inundación.

Cada una de las cuatro primeras fases fue analizada para todo un amplio rango de eventos pluviales y asociados a sus probabilidades, de manera que se permitiera comparar las alturas y velocidades alcanzadas por las aguas en cada evento en forma sistemática.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Las consecuencias de aquel evento, hasta ese momento impensado, simplemente pusieron de manifiesto las características topográficas y geomorfológicas de la cuenca: las aguas se concentraron en sus cauces naturales y de allí se condujeron naturalmente hasta sus receptores finales a través de los arroyos de la ciudad. Sin embargo, la cuenca ya no es prístina y las modificaciones antrópicas alteraron dicho escurrimiento, evidenciados por los daños generados a la población, a las viviendas y con las vidas humanas cobradas, ante un fenómeno natural de muy baja probabilidad de ocurrencia, pero posible. Se produjeron, además de las víctimas fatales, heridos y grandes daños económicos en bienes muebles e inmuebles. En efecto, oficialmente hubo que lamentar 89 víctimas fatales, amén de 2.200 evacuados, 190.000 personas afectadas, 70.000 viviendas inundadas, 40.000 autos siniestrados, y daños estimados, publicados, entre los 500 y 700 millones de dólares. Asimismo, 3.500 hectáreas del casco urbano (cuencas del arroyo del Gato y arroyo Maldonado) resultaron inundadas. Intervinieron 1.200 efectivos del Ejército Argentino que se sumaron a las fuerzas vivas de Defensa Civil y de las propias de los municipios (Mignoty, 2015).

Dentro de los cambios antrópicos se destacan los realizados en los cursos de agua permanentes, que ya sean por caudales o por cotas de niveles del pelo de agua, fueron modificados con obras de drenaje y en muchos casos eliminados del paisaje dados los lineamientos previstos para el diseño particular del trazado urbano de la ciudad.

Dentro de las concepciones de la época de la fundación de la ciudad de La Plata, los cursos eran elementos reemplazables por conductos para que no alteraran la trama urbana propuesta. Se muestra el plano de la ciudad de La Plata, dentro de sus avenidas de circunvalación (límites del casco urbano de la ciudad), hacia el año 1905. Figura 2-1, donde se destacan los cauces permanentes del arroyo Pérez, al noroeste, del arroyo Regimiento, al centro; y del arroyo del Zoológico.

Estos cursos fueron en el año 2013 los receptores de los excedentes de agua pluvial que no pudo ser conducida a través de la red de drenaje existente. Esa limitación en la capacidad de conducción merece que se le ponga atención en lo referente a la

gestión del riesgo por inundaciones, en particular para cada vez que ocurran eventos pluviales superiores a los del diseño de cada una de las obras y se pueda producir el escurrimiento del agua en calles. Sobre la Figura 2-1 se superpusieron las áreas inundadas.

Todo lo relativo a la gestión del riesgo por inundaciones, y en particular el conocimiento de los riesgos asociados a distintos eventos, permitirá cuantificar los daños asociados a la red de drenaje existente.

Hubo sobre la región otros antecedentes de tormentas importantes que generaron problemas y anegamientos en la cuenca, o en parte de esta, registrados en la estación La Plata del Servicio Meteorológico Nacional, como el evento del 27 de enero de 2002, tormenta en la que precipitaron 123,4 mm; el evento del día 11 de noviembre de 2003, tormenta que tuvo una precipitación total de 133,8 mm, y el evento de los días 28 y 29 de febrero de 2008, registrado en una estación meteorológica de la UNLP, tormenta desplazada hacia el norte del casco de la ciudad, en la que precipitaron 240,0 mm.

Asimismo, cabe introducir o mencionar a las medidas estructurales tanto de alta como de baja recurrencia.

2.4 MEDIDAS ESTRUCTURALES

Se pueden definir como medidas estructurales aquellas que implican a obras civiles, principalmente para proteger zonas afectadas por inundación.

La bibliografía sobre el tema reconoce, como medidas estructurales, a las *Estructuras de Retención*, a las *Estructuras de Protección* y a los *Sistemas de Drenaje*. SUFRI, (Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara, 2011).

Figura 2-1.- Plano de la ciudad de La Plata al año 1905 realizado por el Departamento de Ingenieros de la Provincia. Sección Hidráulica y Puentes y Caminos. Superpuesta la mancha del 2 y 3 de abril de 2013.

2.4.1 ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN

Estas estructuras pretenden retener el agua que precipita en la cuenca alta evitando o difiriendo su entrada al casco urbano o zonas urbanas. Aplicables a la ciudad de La Plata se han planteado las Áreas de Retención Temporal de Excedentes Hídricos (ARTEH), cuya finalidad pretendida consistiría en laminar y atenuar crecidas, disponiendo de volúmenes de regulación excavados en lugares afines.

El mayor problema que tienen estas áreas de retención está vinculado a la disponibilidad de superficies y desniveles que permitan almacenar un volumen considerable y la atenuación pretendida. El objetivo no consiste en terraplenar sino en generar volúmenes de retención por excavación, entre las cotas del terreno natural y los fondos de cauce; al no disponer de superficies apropiadas y volúmenes, la laminación es baja.

Dadas las características de la cuenca alta y la disponibilidad de terrenos, los hidrogramas de crecida de recurrencia 5 años podrían ser considerados como condición de diseño, aunque se pretendan regular los caudales de ingreso a la ciudad que generan daños, de características menos probables como recurrencias de 25 a 50 años. Para recurrencias de 2 a 5 años podrían encuadrarse dentro de los denominados Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable, SUDS o también LID en referencia a sus siglas en inglés Low Impact Development (Enviromental Protection Agency EPA, 2016).

En el caso de la ciudad, donde por diversos motivos las zonas planteadas y establecidas para la ubicación de estos reservorios de atenuación fueron definidas anticipadamente por la Dirección de Obras Hídricas DPOH del Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, quedaron reducidas en superficie (sujeta a expropiación) lo que generó que las atenuaciones alcanzables sean cada vez menos eficientes. Aun así, se realizó un análisis y modelación sobre los reservorios que mantienen aún mayor capacidad de laminación, sobre el arroyo del Gato y sobre el brazo oeste del arroyo Pérez.

2.4.2 ESTUDIO DE LAS ATENUACIONES POSIBLES CON LOS ARTEH Y SU INCIDENCIA EN CAMBIOS DEL RIESGO POTENCIAL DE INUNDACIÓN DEL CASCO URBANO

Con este fin, y a modo de analizar las posibles bondades de estas áreas de retención, se analizaron las que, en principio, podrían llegar a tener mayor incidencia sobre el funcionamiento de la red mayor y menor de drenaje de la ciudad.

Sobre nodos específicos de los modelos matemáticos, ver Figura 2-2, aguas arriba del nodo de calle 38 y 143, sobre el arroyo Pérez, y sobre el cauce del arroyo del Gato, en dos ubicaciones elegidas a tal fin, calles 158 y 173, se determinaron las cuencas de aporte a las futuras ARTEH, se estudiaron los hidrogramas generados por tormentas como las consideradas en las modelaciones matemáticas, se propusieron embalses atenuadores siguiendo criterios de diseño tales que permitieran atenuar recurrencias del orden de los 10 a 25 años con expropiaciones ajustadas y en terrenos aún disponibles o libres de ocupación, y que su implementación no genere inundación a pobladores ubicados aguas arriba de estas obras, que de no existir, no la padecerían. También se determinaron y limitaron los niveles máximos de los espejos de agua para garantizar no solo las obras de cierre previstas sino también las calles lindantes.

Figura 2-2.- Trazado de cuencas de aporte a los 3 reservorios ARTEH bajo estudio.

Con este fin se propuso la realización de excavaciones, algún cierre menor lateral mediante terraplenes, se propusieron obras de control materializadas por alcantarillas y obras de seguridad para limitar el nivel máximo de retenención, a través de la interposición de vertederos con cota de labio fijo para recurrencias de 50 años.

Los modelos matemáticos fueron alimentados con la ubicación de los reservorios dentro de la cuenca, con los hidrogramas de entrada y los resultantes de la atenuación para los anteproyectos de los reservorios con un predimensionado de las estructuras de control.

Se generaron para las cuencas analizadas, modelos matemáticos, hidrológicos, como el HEC - HMS, para determinar los caudales generados en cada subcuenca y su traslado hacia el casco urbano. (US Army Corps of Engineers, 2015). La utilización de este software obedece a que el modelo permite mayor precisión a la hora de realizar modelaciones, especialmente las derivadas de la cuenca alta, y permite una modelación de los reservorios y obras de control más afín a los problemas a resolver. El SWMM permite realizar la modelación de reservorios, pero sus resultados no son tan precisos.

De la tabla indicada en la Figura 2-3 se desprende que la recurrencia de tormenta de 100 años produce una crecida del orden de $167,7 \text{ m}^3/\text{s}$, que, atenuada en los dos reservorios sobre el arroyo del Gato, resultó en un caudal pico de $116,2 \text{ m}^3/\text{s}$, semejante al caudal pico generado para una tormenta de 25 años de recurrencia sin atenuación. La presentación de resultados solo pretende a indicar la función de las ARTEH y no de realizar avances sobre los trabajos que se desarrollan en la Parte B.

Figura 2-3.- Hidrogramas de entrada y salida del sistema de reservorios ubicados en el arroyo del Gato, para tormentas de diferente recurrencia.

Para el reservorio ubicado sobre el arroyo Pérez, Figura 2-4, la atenuación no presenta las bondades de los dos reservorios anteriores.

Figura 2-4.- Hidrogramas de entrada y salida del reservorio ubicado en el arroyo Pérez, en 38 y 143, para tormentas de diferente recurrencia.

En forma teórica, y según la Figura 2-5, el volumen requerido al reservorio para la atenuación corresponde a la diferencia entre volumen del hidrograma de ingreso y el volumen del hidrograma de egreso, hasta que los caudales de ingreso y egreso se igualan.

Figura 2-5.- Esquema teórico de la atenuación de caudales y laminación por interposición de una ARTEH.

El predimensionado del volumen de las ARTEH pretendió que los hidrogramas de ingreso de agua al casco urbano, luego de la atenuación, aún para tormentas de recurrencia 100 años, pudieran atenuarse a recurrencias de 25 años. Es decir que las bondades en la atenuación – laminación de crecidas cumpliera con las expectativas previstas.

Los cierres a los cursos de agua se materializarían con estructuras de control (alcantarillas y vertederos), que permitan regular los caudales de salida en función de los niveles variables que se embalsan en forma temporaria y su máxima altura admisible.

Ubicados en zonas próximas a calles, donde existe un terraplén de cierre, se obtendría un esquema general como el mostrado en la Figura 2-6:

Figura 2-6.- Esquema general del vertedero y alcantarillas en los terraplenes viales existentes.

El tema principal fue analizar cómo repercutieron estas atenuaciones en el funcionamiento integral de la red de drenaje pluvial.

Para todo el rango de probabilidades de tormentas consideradas, se modelaron matemáticamente las cuencas, reemplazando los hidrogramas naturales por los atenuados en los nodos claves de implantación futura de los reservorios (Fase 3a). A partir de los resultados obtenidos se extrajeron los datos que permiten analizar el riesgo evitado por la implementación de las obras de retención / atenuación.

2.4.3 INTRODUCCIÓN A MEDIDAS ESTRUCTURALES DE BAJA RECURRENCIA

La urbanización de las cuencas y del territorio en general implica la impermeabilización del terreno. Esta situación se traduce en menores volúmenes de infiltración de agua en el suelo, menor recarga de acuíferos y, a consecuencia de lo anterior, mayores volúmenes de escurrimiento superficial. Sumado a menores fricciones con el terreno, estos mayores volúmenes escurren a velocidades mayores acortando los tiempos de llegada del pico de las crecidas.

Otras implicancias quedan referidas a los contaminantes en el suelo que se suman a los efectos de la urbanización y su transporte por escorrentía directa; al infiltrarse, la zona no saturada del suelo realizaba los procesos de filtración y tratamiento, con ayuda de la vegetación. Esta situación cambia por la impermeabilización del suelo, aumentando la carga de contaminantes del cuerpo receptor.

En este trabajo se han ajustado las características propias de la infiltración en función de los suelos presentes en el partido (en el territorio), basados en el trabajo del Análisis ambiental en el partido de La Plata (Cabral & al., 2006); y considerando distintas zonas dentro y fuera del casco urbano, con ayuda de imágenes satelitales, como las del Google Earth, permitieron cuantificar la impermeabilidad presente.

A modo ilustrativo, resultado de las modelaciones realizadas, se presentan en la Tabla 2-1 las alturas de precipitación, infiltración, escurrimiento y relación entre lo escurrido y lo precipitado.

Recurrencias	2	5	10	25	50	100	200	500	2deAbril	PMP
Total Precipitado (Valores Extremos) [mm] =	44,12	56,46	64,67	91,7	100,88	110,03	118,75	131,18	335,29	365,78
Pérdidas por Infiltración [mm] =	29,4	37,17	42,09	58,1	61,87	64,72	66,97	69,67	92,93	89,11
Escorrentía Superficial [mm] =	14,54	19,11	22,4	33,42	38,82	45,12	51,59	61,31	242,09	276,39
Almacenamiento en cuenca [mm] =	0,18	0,19	0,19	0,2	0,2	0,21	0,21	0,21	0,28	0,29
Porcentaje de volumen escurrido / precipitado	32,96	33,85	34,64	36,44	38,48	41,01	43,44	46,74	72,2	75,56

Tabla 2-1.- Volúmenes de Precipitación, Infiltración, Escorrentía superficial y Almacenamiento en la cuenca, para los eventos modelados.

Con respecto a la tormenta de los días 2 y 3 de abril de 2013, el valor informado corresponde a la precipitación ponderada sobre toda la cuenca, considerando el abatimiento areal de la lluvia, referido al resto de los pluviógrafos analizados, en la evaluación de dicho evento (Departamento de Hidráulica - FI - UNLP, 2013). En líneas

generales, el porcentaje del total de agua precipitada que se transformó en escorrentía, alcanzó un 72%, duplicando los porcentajes normales.

2.4.4 ESTRUCTURAS DE SISTEMAS SUSTENTABLES

La bibliografía sobre el tema es amplia y, dentro de las más desarrolladas, se encuentra a la Organización Ciria [www.ciria.org] (Woods Ballard, y otros, 2016) vinculada a la investigación e información de la industria de la construcción.

Si bien la idea es retornar con medidas a las condiciones anteriores a las intervenciones antrópicas, en muchas de ellas se requiere de medidas estructurales y no estructurales. Dentro de las primeras, las más comunes son: áreas de biorretención, cunetas verdes, depósitos enterrados de detención -y/o infiltración- estanques de retención, filtros, humedales artificiales, cubiertas verdes, drenes filtrantes, pozos y zanjas de infiltración, otros. Dentro de las medidas no estructurales, abordan la educación e información, principalmente, la limpieza de zonas con contaminantes y evitar que las aguas de lluvia puedan arrastrarlos, sean pesticidas o aguas negras, y la reutilización de las aguas de lluvia.

El diseño queda sujeto al volumen en juego y posibilidades de mitigación, remediación y/o restauración. La gestión se debe hacer donde precipita el agua de lluvia, reteniendo, o gestionando la escorrentía para su evacuación de la zona urbana, en forma global.

2.4.5 ESTUDIO DE LOS SISTEMAS URBANOS SUSTENTABLES PARA LA CIUDAD DE LA PLATA

Si bien la posibilidad de retener el agua de lluvia que cae dentro de cada lote urbano es factible a través de estructuras específicas, no siempre su uso y disposición tiene efectos significativos sobre la atenuación de los hidrogramas de crecida en la cuenca. Están recomendados para sustraer valores del orden de 1,0 mm de una precipitación puntual.

Su interés principal radica en que, a nivel local, las aguas que generan recurrentes problemas, como anegamiento en calles, pueden ser gestionadas a través de estructuras como pavimentos permeables, retenciones domiciliarias, o en urbanizaciones, mejorando el tratamiento de la calidad de las aguas, pudiendo generar biorretenciones, o recomponiendo la infiltración disminuida por la impermeabilización. Las estructuras que más se ajustan a este tipo de soluciones se las conoce como cunetas verdes.

En aplicaciones urbanas y en este trabajo de tesis se propusieron, para recurrencias de hasta 5 años, retener el agua de calles, derivándola hacia parques urbanos, como el Parque Castelli, Parque San Martín, Parque Alberti y Parque Saavedra, o al boulevard de circunvalación de La Plata.

La superficie verde disponible alcanza los 907.000 m² disponibles, habiéndose descontado un porcentaje al total de estos espacios, para considerar veredas y comunicaciones. La profundidad relativa debiera quedar establecida en no más de 1,50 m para poder gestionar posteriormente, los volúmenes de las aguas remanentes.

El objeto de estas medidas apunta a sacar el agua de calles, vinculando los sumideros directamente a estos lugares, en cada esquina urbana próxima. Se gestiona posteriormente al agua hacia un conducto próximo o, de permitirse, su infiltración final o disposición superficial con lagunas temporarias. El libro de Drenaje Urbano no convencional (Rodríguez Díaz H. A., 2013), identifica a las estructuras de captación y transporte y a las estructuras de almacenamiento. Ambas combinadas pueden permitir que sean usados los espacios verdes mencionados, aunque en muchos casos el costo de estas estructuras de transporte es tal que se convierte en un drenaje formal. Aun así, dan soluciones que, combinadas con aspectos paisajísticos, pueden colaborar en el drenaje general de algunas cuencas próximas a las zonas indicadas.

Para conducir finalmente las aguas hacia los conductos o red de drenaje menor existente, se puede hacer en forma diferida con compuertas o con el uso de vertederos proyectados a tal fin.

Los resultados que se obtuvieron no fueron relevantes para las precipitaciones de diseño (recurrencia de 5 años) y pierden entidad para precipitaciones de recurrencia mayor.

El otro aspecto por el cual se los puede reconsiderar es por el tratamiento del agua de limpieza de calles producto de las primeras escorrentías. En ellas y al comienzo de la precipitación se da el proceso de primer lavado. Una fracción significativa de los contaminantes acumulados en tiempo seco (período entre lluvias) es arrastrada por un pequeño volumen inicial de agua de escorrentía superficial. Por tanto, ese pequeño caudal inicial, el que se pretende filtrar a través de las cunetas verdes o estos espacios a tal fin, contiene la mayor parte de las partículas que se habían acumulado sobre las superficies impermeables de las áreas urbanizadas como polvo, arenas, metales pesados, sustancias tóxicas, materia orgánica, etc. Estos primeros caudales son los que mayor concentración de contaminantes presentan.

Los tipos de contaminantes en las aguas de escorrentía urbanas y sus principales fuentes son, según la Tabla 2-2:

Tipo de contaminante	Fuente principal
Bacterias	Residuos orgánicos, excretas de animales
Metales	Vehículos y pequeña industria
Nutrientes	Residuos orgánicos, jardinería
Aceites y Grasas	Vehículos, residuos de restauración, comercio
Pesticidas	Parques y jardines
Sólidos en Suspensión	Obras, deposiciones atmosféricas en calles, erosión de suelos
Sustancias Tóxicas	Vehículos y pequeña industria

Tabla 2-2.- Tipo de contaminantes en aguas pluviales y su fuente. Cámara Argentina de la Construcción (2009).

Y en base a sus tasas de aporte diarias, de la Tabla 2-3, (<http://sudsostenible.com/contaminantes-en-las-aguas-de-esorrentia-urbana/>, 2013), tenemos:

Tipo de contaminante	Tasa de aporte (g / Ha día)
Sólidos Totales	515
DQO	195
Fósforo Total	0,51
Plomo Total	0,52
Sulfatos	23

Tabla 2-3.- Contaminantes y tasas de deposición atmosférica seca. Bannerman (1984).

Los registros meteorológicos para la ciudad de La Plata permiten estimar anualmente la cantidad de días con lluvias que varían entre 60 y 89, según la fuente. Esto implica que, en valores medios, el tiempo entre tormentas, o tiempo seco, puede variar de 4 a 6 días, que correspondería a la acumulación o deposición de contaminantes.

Los contaminantes acumulados y lavados por las primeras aguas de lluvia podrían preverse que sean saneados en estas propuestas de biorretención/cunetas verdes.

En caso de disponer de los reservorios (ARTEH) planteados, estos requerirían sanear sólidos totales por 5411 Kg para la cuenca completa del arroyo del Gato en el reservorio de 527 y de 1833 Kg para la cuenca del arroyo Pérez, en 38 y 143, según los valores indicados en la Tabla 2-3. En general se proyectan remociones dentro de reservorios del orden del 73% para sólidos totales, requiriendo de sedimentación. Con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno, la remoción esperada debiera ser del orden del 85%. Equivale a suponer para el arroyo del Gato que de 2049 Kg totales de DBO salgan del embalse en el orden de los 307 Kg. Y para el reservorio del arroyo Pérez, de los 695 Kg previsibles en forma teórica, se eroguen solo 104 Kg. Los valores utilizados son generales y no se cuenta con datos propios de la cuenca. Solo a través de los resultados del Proyecto de Investigación Orientado, y publicados en el capítulo 6 del libro Inundaciones por lluvia en el sur de la Región Metropolitana de Buenos Aires,

(Ronco, A.; López, I., 2016), se dispone de valores de las muestras de calidad de agua en el curso principal del arroyo del Gato, del orden de los 70 a 100 mg/l para la DBO.

No ha sido el objeto de este trabajo evaluar remoción de contaminantes físicos o químicos dentro de los reservorios propuestos. Sin embargo, muchos de estos contaminantes se remueven con vegetación específica para cumplir con estándares en la calidad de las aguas. En estos casos el sistema de tratamiento de aguas y almacenamiento puede definirse como humedal artificial que es de baja profundidad, pero con alta densidad de vegetación y aportan un gran potencial ecológico y estético. Puede utilizarse con fines educativos (hacia la población) y recreativos. (Rodríguez Díaz H. A., 2013).

El objetivo planteado fue retiro de agua de calles.

2.4.6 COLORES DEL AGUA

Los derrames superficiales son la consecuencia de un proceso de transformación entre la precipitación y la escorrentía que se genera sobre una cuenca. Estos derrames dependen de la forma en que se presenta la precipitación, de las condiciones del suelo al momento de esta última, fundamentalmente el espesor y el estado de la zona no saturada; de la cobertura vegetal; del estado vegetativo; y de otros factores como clima, temperatura, pendiente del terreno, tipo de suelos y usos del suelo.

La disponibilidad del agua superficial se corresponde con los excedentes de la precipitación. En la Guía Metodológica para la evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca Hidrográfica (Arévalo Uribe, Zárata Torres, Fernández Poulussen, & Kuiper, 2017), se dan una serie de definiciones que se indican a continuación.

Se define *Agua Azul* al volumen de agua dulce disponible en forma superficial o subterránea e incluye al agua de movimiento horizontal.

Se define *Agua Verde* al volumen de agua de lluvia acumulada en el suelo, en forma de humedad; es agua disponible para el crecimiento de la biomasa y participa de la evapotranspiración.

Se define *Agua Gris* al volumen de agua requerida para asimilar y transportar las cargas de contaminantes, de origen antrópico; representan una amenaza de la calidad de los cuerpos receptores.

Se define *Agua Virtual* al volumen de agua requerida o contaminada para la producción de productos y/o servicios, medida a lo largo de su cadena de suministro: es equivalente a la huella hídrica.

Del total de la lluvia precipitada, por evaporación y evapotranspiración, un porcentaje importante puede volver a la atmósfera, en promedio, entre un 90% y un 65% para aguas urbanas. Entre el 10% y el 35% pueden convertirse en derrame en función de la capacidad de infiltración del suelo y de características distintivas de las ciudades.

Analizando los resultados de las modelaciones realizadas, en las cuales se volcaron los tipos de suelos, el grado de impermeabilización actual de la cuenca, sin considerar pérdidas por evaporación dado los tiempos analizados en las modelaciones, se puede llegar a estimar que la escorrentía directa varía, para las lluvias analizadas, entre un 33% y un 46,7% para lluvias de recurrencias variables entre 2 y 500 años. Las Tablas 2-1 y 2-4 indican los resultados presentados. Y, en forma conceptual, se presenta la Figura 2-7 con los colores del agua y sus porcentajes respecto al total de la precipitación.

Figura 2-7.- Huella hídrica dentro del ciclo hidrológico. Adaptación propia para zonas urbanas del trabajo de la Dra. Falkenmark (2009).

Recurrencias	2	5	10	25	50	100	200	500	2deAbril	PMP
Porcentaje de volumen escurrido / precipitado	33,0	33,8	34,6	36,4	38,5	41,0	43,4	46,7	72,2	75,6

Tabla 2-4 .- Relación Escorrentía / Precipitación. Para las tormentas estudiadas en el casco urbano de La Plata, cuenca arroyo del Gato.

Para la tormenta de los días 2 y 3 de abril de 2013, el porcentaje de precipitación transformado en escorrentía habría alcanzado el 72,2%.

La infiltración aumenta conforme aumenta la precipitación, pero a medida que el suelo se va saturando y la velocidad de infiltración disminuye, la escorrentía mantiene su tendencia, aumentando en forma porcentual respecto al volumen precipitado, tal lo indicado en la Tabla 2-4. Para el partido de La Plata, en general, la recarga de acuíferos es un proceso que permite mantener el ambiente y se debe fomentar contrarrestar la impermeabilización de la cuenca. Mediante captaciones desde los acuíferos, el agua es

utilizada para riego y en otros casos para consumo humano, a través de cooperativas de agua como la correspondiente a la localidad de Gorina. La Figura 2-8 muestra la representación de dichas curvas en función de la inversa de la recurrencia, la probabilidad de las tormentas, en escala semi-logarítmica, con el propósito de linealizar las curvas.

Por otro lado, algunas descargas cloacales generadas en zonas urbanas sin servicio de red, se disponen en pozos negros o se vierten en los arroyos, contaminando las aguas y atentan contra la salubridad de la población. Las inundaciones trasladan estos contaminantes por la red mayor, ingresando en viviendas.

Los sistemas de drenajes urbanos sustentables deberían ser concebidos cercanos a las fuentes de contaminación si este fuese el propósito.

Figura 2-8.- Precipitación, Infiltración y Escorrentía para las lluvias analizadas (R = 2 años hasta R = 500 años).

2.4.7 APLICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SUSTENTABLE

En este trabajo solo se atendió a la evaluación de la red mayor de drenaje, calles y avenidas, por aplicación de estos sistemas; los resultados alcanzados no fueron muy alentadores por la disponibilidad de los espacios urbanos referidos con la ubicación con los excedentes pluviales, por la cuantía del agua retirada de las calles y volcada a estas cunetas verdes o reservorios de atenuación – infiltración, por la recurrencia de las lluvias para que puedan ser efectivos (recurrencias de 2 a 5 años), y por la cantidad de obras requeridas para su implementación ya que se requiere construir o modificar cada uno de los sumideros o bocas de tormenta próximos a estos espacios verdes (el total de esquinas de la circunvalación de la ciudad, de ambos lados y/o adaptación de los enlaces

de los sumideros existentes). También requieren de la ejecución de excavaciones, adaptadas al paisaje urbano, para dar volumen de contención y las estructuras que permitan, pasado el tiempo adoptado, volcar estos volúmenes de agua si no se pretende la infiltración, a los sistemas de drenaje o red menor.

Los procesos de biorretención pueden ser establecidos con vegetación específica para remediar o disminuir la carga de contaminantes.

2.5 INUNDACIONES Y SU ESTUDIO

La bibliografía especializada en el tema de inundaciones diferencia dos tipos de inundación: la inundación fluvial, que es la producida por desbordes de arroyos y ríos a causa de los caudales generados en la propia cuenca o provenientes de la cuenca alta; y la inundación pluvial, que se produce en forma localizada en los lugares donde precipita el agua, no necesariamente próximos a los cursos de agua. (Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara, 2011).

En la inundación fluvial el escurrimiento se produce en forma casi paralela a la traza del cauce mientras que en la pluvial el escurrimiento es, en general, con dirección no alineada al cauce y condicionada por las calles o red mayor de drenaje.

En la zona de Ringuelet y Tolosa se sumaron ambos tipos de inundación, producida por la precipitación sobre la cuenca y las condiciones de borde que impone el curso de agua próximo a ella.

El estudio que se desarrolló en esta tesis estuvo vinculado a la red de drenaje completa, redes mayor y menor, considerando la influencia de los niveles presentes en el arroyo que condicionan las condiciones de descarga.

El carácter del estudio es de *inundación pluvial*.

2.6 OTRAS CONSIDERACIONES

La cuenca física tiene, en forma inherente a ella, un peligro asociado a sus pendientes, geoformas, y características propias, que, sumadas a las amenazas por lluvias (cantidad y probabilidad) implican un peligro. En este sentido, se diferencia a la componente física de la componente humana de la cuenca, en función de lo natural y lo antrópico, de la siguiente forma como se indica en la Figura 2-9 que describe conceptualmente el riesgo por daños de inundación:

Figura 2-9.- Cuadro conceptual del Riesgo de Daños por Inundación. Lluís Ribera Masgrau. 2003.

Los mapas de Peligrosidad final de la cuenca, Figura 2-9, (Ribera Masgrau, 2004), vinculados con combinaciones entre calado y velocidad del agua en calles, para diferentes eventos pluviales, implica también asociar al tiempo de permanencia del agua en las calles y en particular dentro de viviendas. Este tiempo, que puede llegar a horas en esta cuenca, es otro dato para la valoración de las medidas estructurales actuales y/o propuestas, pero aplica a la exposición y vulnerabilidad, requisitos para determinar los mapas de vulnerabilidad final y en definitiva, combinados, los mapas de riesgos de daños (potenciales) por inundación.

Localizar los Riesgos por Inundación requiere evaluar la vulnerabilidad de la cuenca por lo que no es suficiente el mapa de la peligrosidad. Combinados con el tiempo de exposición de las aguas significa estudiar al riesgo y los daños por inundación.

2.7 PRESENTACIÓN

Cada una de las fases analizadas, la existente al año 2013 y la situación actual, con obras ejecutadas, fueron analizadas tanto sobre la red mayor de drenaje, superficial, en calles, como para la red menor de drenaje, fundamentalmente los conductos.

Para cada amenaza pluvial estudiada, se determinaron los niveles de agua en calles, sus velocidades, como también el funcionamiento de los conductos, caudales erogados y el escurrimiento general en el arroyo del Gato. Se elaboraron mapas y tablas en función de los resultados para cada una de las situaciones. Los daños derivados de cada evento pluvial fueron calificados y cuantificados según la norma adoptada por la comunidad europea (Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara, 2011). Incluyó analizar también las bondades de las obras ejecutadas hacia el 2018. Luego se compararon los resultados.

El mismo procedimiento se realizó luego para analizar las medidas estructurales propuestas –reservorios de atenuación y túneles derivadores–, comparando la peligrosidad y daños, por implementación de dichas obras con respecto a la situación actual.

Finalmente se analizaron las bondades de la implementación de medidas no estructurales, basadas en las alertas.

Cada situación quedó detallada en los Anexos correspondientes, quedando en el cuerpo principal del trabajo de tesis los resultados principales y las comparaciones alcanzadas.

Luego, para la Gestión del Riesgo, se presentan fichas de propuestas de acción sobre subcuencas particulares que sirvan para basar los Planes de Contingencia en función de los resultados alcanzados para la Fase de la situación actual, que es la existente.

2.8 GESTIÓN DEL RIESGO

En este trabajo de tesis se habla de riesgos presentes en la cuenca y gestión del riesgo: el primero es el riesgo inherente a ella, e incluye a sus habitantes y los bienes muebles e inmuebles, a través de los usos del suelo y del agua. Está asociado a amenazas, principalmente las precipitaciones, y a vulnerabilidades, asociadas a lo presente sobre la cuenca, lo que se expone. La gestión del riesgo implica no solo conocerlo, calificarlo y cuantificarlo, sino las medidas que se deben adoptar para minimizar los daños en caso de producirse las amenazas que lo determinan.

La gestión de riesgos se analizó bajo los enunciados y conceptos vertidos, y adaptados, del libro de Project Management Body of Knowledge, PMBOK, del Project Management Institute PMI, (Project Management Institute, Inc, 2012) considerando las contribuciones de la ingeniería hidráulica. Se destacan las diferencias entre un proyecto y la gestión de cuencas, donde un proyecto tiene principio y fin, mientras que la gestión tiene principio, pero no tiene fin, aunque sí tiene ciclos.

Por tal motivo, la gestión de proyectos incluye al gerenciamiento de riesgos, con una serie de procesos a seguir que se resaltan en este estudio y tesis.

Si se define al riesgo como el producto de una amenaza (y su probabilidad) por la vulnerabilidad de lo afectable, se obtiene:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \quad (1)$$

En muchas referencias bibliográficas se encuentra definido como *riesgo* solo a la amenaza; como el caso del riesgo hidrológico (Chow, 1988), que en realidad define a la

amenaza y su probabilidad, afectada de un tiempo de análisis. Se verá más adelante en este trabajo.

Estas diferencias semánticas, que también han evolucionado en el tiempo, pretenden aclarar que en este trabajo el riesgo, como tal, responde a la expresión (1) indicada anteriormente; y la gestión del riesgo es la serie de procesos tales que, conocido el riesgo, buscan medidas y métodos de minimizar los impactos resultantes de las amenazas sobre la cuenca. Si se conoce el riesgo se lo puede gestionar a través de planes de contingencia; si no se lo conoce, se deberán prever partidas económicas para su gestión.

2.9 DEFINICIONES DE RIESGOS DESDE LA PERSPECTIVA DE UN PROYECTO

La gestión del saneamiento y drenaje pluvial, como parte de la gestión integrada de los recursos hídricos, guarda semejanzas con la definición más estricta de un proyecto, que es un emprendimiento o esfuerzo temporario llevado a cabo para crear un producto o servicio, o un resultado único (Project Management Institute, Inc, 2012). Finaliza cuando se cumplieron los objetivos. La gestión del drenaje pluvial es un esfuerzo que no es temporario (a priori), que empieza y no tendrá fin, pero sí evoluciona, tiene ciclos (otra vez el tiempo en otra dimensión), buscando también un resultado, que también puede evolucionar en el tiempo. Debe ser dinámico ya que la cuenca es dinámica y los grupos humanos que habitan en ella presentan dinamismos sujetos a leyes sociales, económicos y culturales, distintas a las leyes hidráulicas e hidrológicas, por lo cual es necesario contemplar, con cierta frecuencia, los cambios que se van presentando. Cambia la cuenca, cambian los grupos humanos entonces cambia la vulnerabilidad y, por lo tanto, el riesgo.

Desde la gestión de proyectos, el riesgo es un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto negativo y algunas veces positivo (Project Management Institute, Inc, 2012), en uno o más de los objetivos de la gestión integrada de cuencas. Según el paso de tiempo (condición dinámica de la cuenca) y la adopción de medidas tanto estructurales y/o no estructurales se generarán cambios en los riesgos, desde la definición enunciada. Los riesgos pueden tener una o más causas y tener más de un impacto. Es de hacer notar que el riesgo, de producirse, implica cambios al funcionamiento del saneamiento previsto para la cuenca: puede ser para bien o no; una obra que se ejecuta puede modificar el saneamiento de la cuenca. Como ejemplo, se puede mencionar al viaducto del ferrocarril Roca, con la construcción de un puente de mayor luz que el anterior, que implicó un cambio en la cuenca que mejoró el escurrimiento local en el arroyo del Gato al cambiar las restricciones que generaba el puente anterior.

Puede notarse que, desde el punto de vista de la Gestión de Proyectos, y para el saneamiento pluvial de una cuenca en particular, el riesgo está vinculado a cada tormenta que puede precipitar sobre la cuenca, por encima de las utilizadas en los

proyectos. Y gestionarlos implica conocer los daños para cada evento asociados a su probabilidad.

Los riesgos asociados a la gestión del saneamiento pluvial, en general se manifiestan cuando, producto de precipitaciones, se presenta un escurrimiento en superficie, en calles que afecta al normal desenvolvimiento en la cuenca, el desarrollo diario de las actividades, y en particular tiene distintas afectaciones según los anegamientos se produzcan en la cuenca alta, la media o en la cuenca baja por lo expuesto al agua y las características de los anegamientos en cada zona.

Un riesgo que se manifiesta es un problema.

El carácter temporario, por definición de proyecto, es aplicable también a la gestión del saneamiento pluvial, dado que debe introducirse la perspectiva que tiene la sociedad sobre el riesgo y su evolución en el tiempo. Hoy se pueden aceptar ciertos riesgos, pero una parte de la sociedad o grupo humano espera que, en un plazo determinado, la situación cambie, disminuyendo estos riesgos.

A partir de este punto, y según las subcuencas analizadas, se debió analizar la actitud frente al riesgo que adoptan todos los interesados.

Los interesados (stakeholders) son actores que están involucrados de diferentes maneras, con distintas responsabilidades y distintas afectaciones. Sin embargo, los intereses entre ellos son o pueden ser distintos, a veces contrapuestos; los reclamos de diferentes grupos que, si bien comparten la misma meta, según su ubicación en la cuenca pueden diferenciarse y tener diferentes miradas sobre las soluciones a adoptar y/o exigen a las autoridades de diferentes maneras, según sus responsabilidades y roles. Las autoridades hídricas también son interesados en la gestión.

Es aquí donde el primer punto analizado radicó en la actitud frente al riesgo, que según las definiciones sobre el tema se pueden mencionar (Project Management Institute, Inc, 2012):

- *Apetito de riesgo*, que es el grado de incertidumbre que un grupo humano está dispuesto a aceptar, con miras a una recompensa u oportunidad. Será por un tiempo determinado. Tiene un dinamismo propio del paso del tiempo.
- *Tolerancia al riesgo*, que es el grado, cantidad o volumen de riesgo que podrá resistir una organización, individuo, sociedad o grupo humano. Considerar las situaciones que pueden ser un problema, de manifestarse el riesgo.
- *Umbral de riesgo*, que se refiere a la medida del nivel de incertidumbre o el nivel de impacto en el que un interesado pueda tener particular interés. Por debajo de ese umbral de riesgo, los grupos humanos aceptarán el riesgo; por encima no.

El apetito de riesgo se relaciona con la disposición humana a vivir en zonas inundables; la tolerancia al riesgo está en función directa con la aceptación que el riesgo nulo no existe, pero si bien un grupo tolera el riesgo hay umbrales que deciden qué se acepta y qué no. En general, las familias y grupos sociales requieren una infraestructura básica mínima por debajo de la cual no aceptan riesgos.

Los riesgos conocidos son aquellos que han sido identificados y analizados, lo que hace posible planificar respuestas para tales riesgos. A los riesgos conocidos que se pueden gestionar de manera proactiva, se les debe asignar, en gestión de riesgos, una *reserva para contingencias*. Los riesgos desconocidos no se pueden gestionar de manera proactiva y por lo tanto se les puede asignar una *reserva de gestión*.

Por lo tanto, el objeto de este trabajo se basó en la incertidumbre presente en la gestión y determinar si los riesgos pueden ser conocidos, más allá de la probabilidad de su ocurrencia, asociados siempre a la amenaza y a la vulnerabilidad. La pregunta a definir es: ¿Pueden ser conocidos todos los riesgos derivados de tormentas?

La precipitación es la principal amenaza a la cuenca y tiene su incertidumbre o probabilidad de ocurrencia. La vulnerabilidad está en el territorio, en lo que se expone a la amenaza. Los riesgos serán la resultante de la amenaza vinculada a la vulnerabilidad, para cada probabilidad de tormenta.

En el caso del riesgo asociado a las cuencas urbanas, los riesgos individuales de cada subcuenca del arroyo del Gato son diferentes del riesgo global de la cuenca dadas las características propias de cada una. Cada subcuenca tiene un riesgo particular, relacionado a la geomorfología propia de cada subcuenca, y a su ubicación dentro de la cuenca. La misma amenaza de las precipitaciones no las afecta de la igual manera, aunque a medida que la cuenca se integra, su efecto puede ser menor (abatimiento de las precipitaciones) o mayor según los volúmenes de agua acumulados en una sección y/o derivaciones de otras partes de la cuenca. Es más que la suma de los riesgos individuales de cada subcuenca, ya que incluye todas las fuentes de incertidumbre.

El riesgo representa la exposición de los interesados a las implicaciones de las variaciones de las amenazas (y sus probabilidades), sobre la cuenca y demás exposiciones: los resultados del riesgo quedan cuantificados en daños.

La gestión del riesgo requiere en este caso, la aplicación de modelos matemáticos, propuestos para este plan de tesis, que pretenden, en definitiva, conocer el riesgo derivado de diversas tormentas, anticipándose a los posibles escenarios de inundación y exposición, dado el bajo tiempo de concentración de la cuenca. Conocer los riesgos es trabajar en forma proactiva para elaborar los planes de contingencia previendo situaciones posibles. Y la magnitud del riesgo estará vinculada al crecimiento del agua que precipite.

2.10 LOS RIESGOS Y SU GESTIÓN

En este trabajo se plantearon 6 *procesos* (Project Management Institute, Inc, 2012), para llevar adelante la planificación de la gestión de riesgos, que incluyeron su identificación, su análisis, la planificación de las respuestas y control de los riesgos de la gestión de cuencas.

1. Planificar la Gestión de los Riesgos: Es el proceso de definir *cómo* realizar las actividades de gestión de riesgos.
2. Identificar los Riesgos: Es el proceso de *determinar* los riesgos (anegamiento e inundación y/o propuestas de cambios en el código de Ordenamiento Territorial) y documentar sus características.
3. Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos: Es el proceso de *priorizar* riesgos para análisis o acción posterior, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos.
4. Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos: Es el proceso de *analizar* numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto (anegamiento e inundación o afectaciones a personas y/o bienes). Aquí todos los resultados de los modelos matemáticos intervienen para definirlo.
5. Planificar la Respuesta a los Riesgos: Es el proceso de *desarrollar opciones y acciones* para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del saneamiento pluvial y evitar anegamiento e inundaciones.
6. Controlar los Riesgos: Es el proceso de *implementar los planes de respuesta a los riesgos*, dar seguimiento a los riesgos identificados, monitorear los riesgos residuales, identificar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos.

Estos procesos interactúan entre sí y con procesos de otras áreas de gestión, dentro de la cuenca, en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

PARTE B

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El tiempo es el mejor autor; siempre encuentra un final perfecto.

Charles Chaplin (1889 – 1977) Actor y escritor inglés.

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 INTRODUCCIÓN

Se utilizaron diversos modelos matemáticos para simular el escurrimiento sobre la cuenca y sobre los cursos de agua, principalmente el software Storm Water Management Model (SWMM), y el Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS).

Se utilizaron diversas tormentas de cálculo, y se simuló el escurrimiento por calles, red mayor, hasta la presencia de sumideros o bocas que vinculan ambas redes. La red menor, caracterizada por los conductos existentes, complementan el escurrimiento general de la cuenca.

Para cada evento pluvial se determinaron los niveles de agua en calles y sus velocidades asociadas, tomando los máximos en cada una de ellas.

De la misma manera se determinaron los máximos caudales en conductos y sus niveles máximos, caracterizados por los tirantes de agua, y la energía piezométrica.

Se obtuvieron mapas del escurrimiento general, tanto en calles como en conductos.

3.2 METODOLOGÍA SWMM

Para cada una de las tormentas estudiadas, se observó el nivel en calles, las velocidades y los caudales medios. Estos datos fueron relevados para cada tormenta. Cada uno de estos escenarios buscó describir el escurrimiento superficial generado según disposición de los vínculos entre ambas redes, menor y mayor, y describir, ante tormentas severas, anegamientos y escurrimientos por excedentes hídricos cuando la red menor no tuvo, temporalmente, capacidad de sanear la cuenca.

También se buscó determinar la capacidad de los conductos troncales para todos los escenarios modelados.

La Fase 1, situación de la cuenca al año 2013, pretendió generar un punto de partida de análisis para las obras licitadas y ejecutadas.

La Fase 2, situación actual, con las obras ya ejecutadas, es la base de comparación para la propuesta de medidas estructurales, de la Fase 3, o de la implementación de medidas no estructurales. Sobre esta Fase 2 se realizaron las comparaciones y análisis de resultados obtenidos.

3.3 MODELO HEC - RAS

Este software fue utilizado para contrastar los resultados obtenidos en el modelo SWMM con niveles de agua sobre calles y arroyo del Gato en la cuenca baja según los resultados obtenidos en este modelo. Es un modelo más preciso para describir el escurrimiento en canales y describe mejor la presencia de obras de arte como son los puentes presentes sobre el arroyo del Gato, posteriormente canalizado.

También permitió valorar el cambio del puente ferroviario por la ejecución de un viaducto.

La gran diferencia entre ambos modelos radica en la descripción de un escurrimiento cuasi paralelo a la traza del cauce (HEC-RAS) o de un escurrimiento paralelo o perpendicular según la traza de las calles y su relación con el cauce (SWMM).

3.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO: PLANIFICAR LA RESPUESTA A LOS RIESGOS

Poder determinar los efectos y consecuencias de tormentas asociadas a la probabilidad de ocurrencia, permitió aplicar metodologías con el fin de obtener resultados no solo en el conocimiento del funcionamiento de la red de drenaje, sino conocer el escurrimiento de los excesos de precipitación sobre las calles y sus afectaciones a los habitantes y viviendas de las cuencas urbanas. Y calificar el riesgo para su gestión.

La aplicación de modelos matemáticos permite conocer para cada tormenta y para cada momento de su evolución, el funcionamiento de las redes de drenaje. Cada tormenta puede ser luego evaluada en función de su probabilidad.

Para cuantificar y calificar a los riesgos, se aplicó la metodología de la Comunidad Europea para, en base a las alturas y velocidades de agua en calles, determinar la Severidad de la cuenca y conocer qué peligro es inherente a la cuenca en función de la infraestructura existente y de la probabilidad de las tormentas.

3.4.1 METODOLOGÍA EN BASE A MODELOS MATEMÁTICOS

Para cada evento pluvial, se analiza el agua en calles. Estas aguas son las que generan inconvenientes y daños según el nivel que se alcance incluso pudiendo anegar viviendas.

Se establecen límites de análisis en virtud de las afectaciones esperables. Alturas superiores a los 15 cm desde el fondo de las cunetas indica que la aguas anegan veredas. Alturas mayores a 40 cm, en valores medios, indica que las aguas ingresan a las viviendas; cuando las aguas superan los 60 cm, algunos vehículos livianos pueden empezar a flotar y por supuesto afectan a personas según el rango etario.

Dentro de las viviendas, y tomando como nivel cero el nivel de piso, se tienen rangos de daños en función de las alturas alcanzadas por las aguas: 30 cm generan daños menores, luego de los 75 a 85 cm, equivalentes a las alturas de mesas y mesadas, los daños no solo se incrementan por su nivel, sino que afectan a bienes muebles. A partir de los 120 cm, el nivel de las aguas genera inconvenientes para desplazarse dentro de las viviendas y luego de los 200 cm además de superar las alturas medias de las personas se está afectado la asistencia a los habitantes ya que supera la altura de las puertas.

Conjuntamente con los mapas de profundidades o calados de agua en calles y viviendas, se generaron mapas con las velocidades de agua en calles, ya que las combinaciones de altura y velocidad pueden causar daños a personas, manifestada por arrastre y/o vuelco, como a bienes de personas, autos y a la infraestructura urbana.

Las bondades de las medidas estructurales se evalúan por los daños evitados. Los daños generados por las profundidades alcanzadas por las aguas y/o por las velocidades de las mismas, se evaluaron en función de las normativas europeas para ponderarlos asociados a la probabilidad de cada tormenta estudiada. (Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara, 2011).

Para cada una de las fases propuestas (medidas estructurales) se determinaron los daños tanto en cantidad de viviendas como en montos económicos lo que permitió comparar las bondades de inversión de cada fase; en el mismo sentido se analizaron las personas factibles de ser heridas o fallecer en cada fase. Las bondades de la implementación de las medidas no estructurales se evaluaron a través de daños evitados con respecto a la fase 2, como ser la colocación de compuertas o la implementación de alertas con cambios en la vulnerabilidad de la cuenca y subcuencas.

Las normativas europeas utilizadas y adoptadas son conocidas como Strategies for Urban Flood Risk Management, SUFRI, que representan estrategias de gestión en riesgos de inundación.

3.4.2 METODOLOGÍA SUFRI PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

En la normativa europea (Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara, 2011) se plantean Niveles de Severidad, S , que representan el resultado de la combinación de calados con velocidades del agua y consideran al vuelco ($h \times v$) y al deslizamiento ($h \times v^2$) como parámetros para valorar así la estabilidad de personas de diferentes grupos etarios en la vía pública. Grados crecientes de severidad quedan asociados a riesgos mayores.

La tabla de Severidades, define los grados de severidad que se indican en la Tabla 3.1, presentada a continuación:

<i>Nivel de Severidad</i>	<i>Calado</i> <i>y (m)</i>	<i>Velocidad</i> <i>v (m/s)</i>	<i>Parámetro de Vuelco</i> $I = v \times y \text{ (m}^2/\text{s)}$	<i>Parámetro de Deslizamiento</i> $S = v^2 \times y \text{ (m}^2/\text{s}^2)$
S 0 <i>Severidad Baja</i> No se esperan Víctimas	< 0,45	< 1,50	< 0,45	< 1,23
S 1 <i>Severidad Leve</i> Dificultad para caminar	< 0,80	< 1,60	< 1,00	< 1,23
S 2 <i>Severidad Media</i> Pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia	< 1,00	< 1,80	< 1,00	< 1,23
S 3 <i>Severidad Elevada</i> Alto riesgo para personas en el exterior = arrastre	> 1,00	> 1,80	> 1,00	> 1,23
S 4 <i>Severidad Extrema</i> Daños a edificios	> 1,00	> 1,80	> 3,00	> 1,23

Tabla 3-1.- Nivel de Severidad S.

Se define a la severidad S0 como aquella para la cual no se esperan víctimas. Las combinaciones de altura, o calado de agua en calles, y su velocidad asociada son poco riesgosas.

La severidad S1, Severidad Leve, es aquella donde se presentan dificultades para caminar y desplazarse por calles y veredas, en particular, los menores de 5 años y los mayores de 65 años. Otras personas podrían ser afectadas en función de su contextura física, calzado, etc.

La severidad S2, Severidad Media, es aquella para la cual las personas pierden la estabilidad, con niveles de agua en calle aún menores a 1 metro y velocidades del orden de 1,80 m/s. Los vehículos estacionados o circulando pierden estabilidad, flotan y quedan a la deriva.

La severidad S3, Severidad Elevada, se presentaría con calados mayores a 1,0 metros y velocidades superiores a 1,80 m/s. Se produciría, por extrapolación de resultados realizados en laboratorios, el arrastre de las personas, de variada edad y contextura.

Y la severidad S4, Severidad Extrema, es aquella que puede generar daños a las construcciones o edificaciones, dependiendo del tipo constructivo y calidad de la construcción.

Los valores aplicados a la velocidad derivan de trabajos experimentales realizados sobre la vulnerabilidad de las personas. (Jonkman & Penning-Rowsell, 2008).

Se realizaron mapas de Severidad para determinar las zonas de la ciudad que quedaron expuestas a las situaciones planteadas.

Para los eventos que se describen, y en escala cromática, se representan las distintas severidades calculadas, para las cuencas del arroyo del Gato y del arroyo Maldonado, para todas las situaciones de Fases 1, 2, 3a y 3b. Se destacaron zonas de severidad.

También es clave entender que muchas de las zonas de severidades elevadas y extremas son coincidentes con los cauces naturales de los arroyos que surcan y surcaban la ciudad.

3.4.3 BASADA EN MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE VIDAS

Pérdida de vidas: el método de la Comunidad Europea permitió considerar y calcular el número de personas que pudieron tener accidentes y fallecer a causa de la tormenta estudiada. Para esto fue necesario determinar las alturas h (calados) del agua en calles y sus velocidades v , y se calculó el valor del nivel de peligro, (HR, por sus siglas en inglés, hazard rating) según la expresión:

$$HR = h (v + 1.5) \quad (2)$$

En esta expresión (2) los procesos de peligro quedan determinados por una combinación de alturas y velocidades del agua (y, en caso que la velocidad sea muy baja, se le adiciona un valor constante que pondera el arrastre de objetos y sedimentos). Así, los valores de niveles de agua elevados y velocidades bajas también tomaron significancia.

Luego se debió determinar la vulnerabilidad del área afectada que tiene en cuenta el nivel de alerta presente, el tiempo de concentración de las crecidas y un valor que tiene en cuenta las características de las zonas (residencial, fabril, otras).

Estos parámetros determinan un valor definido como vulnerabilidad del área o de la zona, AV (*area vulnerability*):

$$AV = FW + SO + NA \quad (3)$$

donde los términos presentados representan a las alertas, a los tiempos de concentración de las crecidas y a las características edilicias. La Tabla 3-2 es una adaptación realizada por la metodología europea, SUFRI, derivada de la normativa inglesa propuesta por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales, DEFRA. (DEFRA, s.f.).

Parámetro	1.- Área de Riesgo Bajo	2.- Área de Riesgo Medio	3.- Área de Riesgo Alto
FW: Alerta de Inundaciones	Existencia de Sistemas de Alerta y/o Preaviso (1)	Sistemas de Preaviso Limitado (2)	SIN sistema de preaviso meteorológico ni de inundaciones (3)
SO: Velocidad de Inicio del Episodio Tc	Velocidad de aparición muy gradual (muchas horas) Tc > 6 hs (1)	Velocidad de inundaciones gradual 2 hs < Tc < 6 hs (2)	Inundación Rápida Rc < 2 hs (3)
NA: Características de la Zona y Tipología de edificaciones	Edificios de varios pisos (1)	Típica área residencial (casas de 2 pisos), zonas comerciales e industrias (2)	Cabañas, carreteras muy transitadas, parques, escuelas de un solo piso, campings, otros (3)

Tabla 3-2.- Parámetros para la determinación de la vulnerabilidad del área.

Los valores de vulnerabilidad del área pueden variar desde 3 hasta 9 (sumados), dando los resultados que se esperarían al momento de ocurrir los hechos, pudiendo cuantificar, matemáticamente, las bondades de las medidas no estructurales si se disminuye el valor de AV. Para el evento en estudio, los valores de AV, según localización de la población afectada, conocimiento del régimen hídrico, etc., se consideró variable entre 6 y 9.

El porcentaje de la población expuesta resulta de considerar el Factor de Exposición X%, y resulta:

$$X(\%) = AV \times HR \quad (4)$$

Con datos del censo 2010 de población, se determinó, en base a la población existente N(Z) la población expuesta al riesgo, N(ZE):

$$N(ZE) = X \times N(Z) \quad (5)$$

La población vulnerable, que corresponde al rango etario comprendido por menores de 5 años y mayores de 65 años, se determinó en base a un índice de población altamente vulnerable, Y (%), que se calculó por comparación del porcentaje de este grupo respecto del total de la población local, y comparada con los valores medios del mencionado grupo con la media nacional de estos grupos; resulta de aplicar este coeficiente un número posible de víctimas:

$$2 \times HR \times N(ZE) \times Y \quad (6)$$

También la normativa indica tomar en consideración diferentes densidades de población según sea día o noche y en caso de ser día hábil o día de fin de semana según las características de la urbanización que se considere. En este trabajo dicho valor se tomó igual a 1.

3.4.4 BASADA EN MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS

Para evaluar los daños se trabajó con curvas que relacionan los daños o afectaciones en función de la máxima altura alcanzada por las aguas en calles y dentro de viviendas.

En inundaciones urbanas, en particular para la ciudad de La Plata, en virtud del acontecimiento sucedido los días 2 y 3 de abril de 2013, se puede asegurar que los anegamientos duran horas y no semanas o meses. La incidencia del tiempo de permanencia del agua en una inundación es puntual, por lo que la valoración del tiempo no ha sido de relevancia al margen de la distinción entre mojado o seco.

Se generaron tres tipos de curvas en función del bien a cuantificar:

Para viviendas, en función del máximo costo de reposición y para la altura o profundidad alcanzada, se establece en base al costo de una vivienda tipo, los porcentajes de afectación.

Las curvas de daños, Figura 3.1, refieren a valores porcentuales sobre los costos de reposición, considerando que las estructuras de hormigón y estructuras en general, las paredes de mamposterías, y gran parte de las cubiertas, son recuperables o no sufren daños significativos; mientras que instalaciones, revoques y otros elementos pueden tener daños parciales según los niveles alcanzados por las aguas. Por lo general el ítem pintura siempre corresponde ejecutarlo. Con estos criterios el autor elaboró curvas de afectaciones como la indicada en el gráfico siguiente, basadas en curvas de daños aplicables a las viviendas en la ciudad de La Plata, para una construcción tipo de 100,9 m² (Fuente Clarín Arquitectura). El valor de referencia adoptado fue de 550 U\$D/m².

Bienes muebles: del mismo modo se elaboraron curvas para los bienes muebles. Se estimó un monto total por reposición de electrodomésticos y muebles, y se los consideró relacionándolos con los metros cuadrados de la vivienda. El criterio se basa en considerar que heladeras y lavarropas no se pueden mover, mientras que televisores y otros pueden ser protegidos. El valor de referencia adoptado fue de 105,5 U\$D/m² de viviendas inundadas.

Figura 3-1.- Curvas de daños a viviendas por altura de inundación (elaboración propia).

Para la infraestructura urbana, se utilizó un procedimiento semejante, considerando afectaciones y requerimientos de fuerzas vivas para ordenar al tránsito y la asistencia a personas; se consideran costos por daños directos (producidos directamente por la inundación y lluvias) y costos indirectos como consecuencia de los anteriores. El valor de referencia adoptado fue de 100 U\$D/m² de superficie urbana inundada. En la Tabla 3.3 se presentan los porcentajes de daños considerados.

Altura del agua (desde base cordón cuneta) [m]	0,00	0,15	0,30	0,45	0,6	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95	2,10	2,25	2,40	2,55
(equiv interior vivienda) [m]				0,05	0,20	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,25	1,40	1,55	1,70	1,85	2,00	2,15
	% Daño Económico																	
En vivienda Unifamiliar	0,0	0,0	0,0	0,15	5,20	10,2	16,23	22,8	30,72	42,4	61,0	78,42	85,71	92,05	98,0	100,0	100,0	100,0
Muebles y equipam.	0,0	0,0	0,0	0,50	12,0	25,0	27,5	35,0	45,0	70,0	95,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vía Pública e Infraestructura Urbana	0,0	0,0	0,175	0,25	0,364	1,50	2,25	9,75	16,4	27,0	34,1	42,5	45,0	49,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Tabla 3-3.- Porcentaje medio de daños según la altura alcanzada por el agua.

Daños a vehículos: los daños probables quedaron en función del nivel de agua en calles. Esta cuantificación se aplicó para el evento ocurrido en abril de 2013 pero no fue replicado dado los cambios en el parque automotor que requieren conocer los cambios para cada año de análisis.

Los daños estimados de los vehículos para el evento de abril de 2013 fueron solventados, en gran parte, por las compañías de seguros. Estas compensaciones resultaron de una prima de seguro.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LAS FASES Y DE LAS MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES ESTUDIADAS

Dentro de las Fases planteadas podemos distinguir:

Fase 1: Situación al año 2013.

Esta fase considera la situación existente previa al evento de los días 2 y 3 de abril, principalmente referido a la cuenca y a los cursos de agua a esa fecha, tanto el arroyo del Gato, el arroyo del Zoológico y al arroyo Maldonado.

Fase 2: Situación actual:

Es cambio en la cuenca se base en la canalización realizada en el arroyo del Gato, ampliación aguas abajo de la traza del ferrocarril General Roca, el viaducto construido en reemplazo del puente existente al año 2013, la canalización y revestimiento del arroyo del Gato desde calle 1 hasta calle 143, los derivadores ejecutados en 143 y 139, y el derivador ejecutado en avenida 31.

Otras obras han sido realizadas como la canalización y revestimiento en el arroyo del Zoológico, canalizaciones en el arroyo Maldonado y ampliación de sumideros.

Estas obras estuvieron enmarcadas dentro de la licitada “Etapa 1” de obras, licitadas durante el año 2014. Incluyó el reemplazo y/o remoción de puentes en el arroyo del Gato.

Fase 3: Medidas estructurales

En este estudio se plantearon dos (2) medidas estructurales para su análisis:

Fase 3a. Situación con la ejecución de “áreas de retención de excedentes hídricos”, conocidas como ARTEH, que proponen la ejecución de reservorios para atenuar los efectos de las crecidas. En este trabajo se propusieron tres (3) ARTEH, ubicados dos de ellos sobre el cauce del arroyo del Gato, en los barrios de San Carlos - Las Quintas y Melchor Romero y otro en 143 y 38, barrio San Carlos. Ya descritos en la introducción.

Fase 3b. Situación con la ejecución de dos (2) túneles, trazados con el criterio de disminuir la severidad de la cuenca para las recurrencias de 25 y de 50 años: sacar el peligro existente para la situación actual, Fase 2. Figura 3.3.

No se hizo un dimensionamiento de los túneles específico para ajustar su tamaño, sino que se pretendió modelar túneles semejantes a los realizados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, en la cuenca del arroyo Maldonado. En aquella cuenca los diámetros ejecutados consistían en dos túneles de 6,90 m de diámetro.

Figura 3-2.- Presentación de la 1º Etapa de Obras para la cuenca del arroyo del Gato. Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires.

Aplicando la misma dimensión, ya que la empresa constructora Ghella ha colaborado con un presupuesto estimativo para aplicar a la ciudad de La Plata, se propusieron dos túneles de aproximadamente 12,5 Km totales de longitud, el primero empezando en Parque Castelli hasta el canal del Gato, próximo al acceso a la Propulsora Siderúrgica, y otro que capta aguas en la zona del Bosque, cancha del club Estudiantes de La Plata y las eroga por los canales de la avenida 66.

Fase 4: Medidas no estructurales

Dentro de estas medidas se analizan varias, algunas vinculadas a trabajar sobre la vulnerabilidad del área o de la zona (AV) (*area vulnerability*) y otras vinculadas a la protección de las viviendas a través de la ejecución de compuertas en sus accesos.

Para disminuir la vulnerabilidad de la cuenca se requieren construcciones más seguras y construidas de acuerdo al medio donde se instalan, en particular sobre planicies de inundación; y a la implementación de alertas tempranas.

Con respecto a las compuertas, lo ideal sería la construcción de viviendas resilientes, que tengan en cuenta los máximos niveles que puedan alcanzar las aguas. En caso contrario, y hasta que esto no ocurra (demoliciones y reconstrucciones), se pueden construir compuertas, para el total de viviendas afectadas por la recurrencia de 500 años, y sus ventajas asociadas.

Figura 3-3-. Croquis de disposición de los túneles propuestos.

La traza de los túneles responde a un problema práctico, pero no constituye un proyecto. Lo que se ha buscado con dicha traza es ubicar plazas o parques donde sea posible hacer una transferencia de agua desde conductos existentes hacia los túneles, y en particular, en zonas de anegamientos superficiales importantes o donde los conductos hayan presentado un funcionamiento en carga o a presión.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO A PARTIR DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

*“Antes las distancias eran mayores porque
el espacio se mide por el tiempo”.*

*Jorge Luis Borges (Escritor y poeta argentino
1899-1986).*

4 RESULTADOS HIDRODINÁMICOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar, se realiza una comparación del funcionamiento general de la red completa de drenaje, tanto para la Fase 1, situación al año 2013, como para la Fase 2, situación actual, y para la Fase 3, situación con la implementación de medidas estructurales. La Fase 3a incluye a los reservorios y la Fase 3b incluye a los túneles. Esta comparación se realizó para todos los escenarios de tormentas propuestos y se presenta la correspondiente a la recurrencia de 25 años dado que es la recurrencia de diseño de varias obras ya realizadas y es la recurrencia de proyecto de los túneles y reservorios de atenuación de excedentes hídricos. También se presentan resultados de recurrencia 100 años que generan excedentes que escurren superficialmente.

4.2 RESULTADOS GENERALES DEL ESCURRIMIENTO EN CALLES Y CONDUCTOS

Se seleccionaron dos tormentas características para presentar los resultados: una representativa de la precipitación esperable de diseño de obras troncales, de recurrencia 25 años, consistente en una precipitación de 91,7 mm y 6 horas de duración, con su valor máximo a las 2 horas de iniciada, y otra tormenta, correspondiente a la recurrencia de 100 años, de igual distribución y duración, donde los excedentes superficiales deberían manifestarse en superficie por la falta de capacidad de las obras estructurales, de 110,03 mm. La diferencia precipitada total entre ambas recurrencias es de 18,33 mm distribuidos en 6 horas de duración de los eventos modelados. Se aplicaron leyes de Intensidad Duración y Recurrencia según expresiones de Valores Extremos, propuestas por el Ing. Gustavo Devoto en el Manual para el Diseño de Planes Maestros de Drenaje Urbano. Esta elección de leyes y duraciones se realizó luego de aplicar sobre los modelos matemáticos otras leyes como las derivadas del SMN, utilizadas por la Provincia de Buenos Aires a través de la DPOH y por la dirección de Infraestructura CABA, y otras duraciones. Y se observaron cambios, o no, por volúmenes precipitados y por duraciones menores. Se pretendió alcanzar la “envolvente” de las situaciones críticas sobre cada calle de la cuenca.

Se obtuvieron, a las 3 horas de la modelación, que es un tiempo superior al tiempo de concentración de las cuencas urbanas, las siguientes situaciones según la fase analizada, y los trazas tanto en sus colores como en su espesor indican los caudales escurridos a través de las redes, según la escala propuesta para las Figuras 4-1 a 4-8:

- Para la recurrencia de 25 años:

Figura 4-1.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 25 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación al año 2013 Fase 1.

Figura 4-2.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 25 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación actual Fase 2.

Figura 4-3.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 25 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación con reservorios Fase 3a.

Figura 4-4.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 25 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación con túneles Fase 3b.

- Para la recurrencia de 100 años:

Figura 4-5.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 100 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación al año 2013 Fase 1.

Figura 4-6.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 100 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación actual Fase 2.

Figura 4-7.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 100 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación con reservorios Fase 3a.

Figura 4-8.- Caudales escurriendo por conductos y calles, para un evento de recurrencia 100 años. 3:00 h de iniciada la tormenta. Situación con túneles Fase 3b.

Solo en los gráficos correspondientes a la Fase 3b se observan cambios por la presencia de nuevos conductos (túneles) dentro del casco urbano. Para observar en mayor detalle, y en el tiempo, este comportamiento general de la cuenca, se analiza en forma separada a la red mayor de drenaje y a la red menor.

4.3 RESULTADOS EN LA RED MAYOR DE DRENAJE, CALLES Y AVENIDAS

Del escurrimiento general visto, poco se desprende en su análisis ante cambios derivados de las medidas estructurales. Por tal motivo se presentan resultados sobre las redes de drenaje, en este caso la red mayor, para poder apreciar, en escala, las bondades de las medidas estudiadas en cada fase.

Se eligieron lugares característicos de las cuencas urbanas para analizar cómo es la respuesta hidrológica. En la Figura 1-3 se presentaron las principales cuencas urbanas del partido de La Plata. Para la cuenca del arroyo del Gato se diferenciaron sobre la zona urbana, regiones con características propias según su ubicación dentro de la cuenca general, con respuestas hidrológicas particulares y su vinculación con otras subcuencas. Se tomaron calles representativas de cada uno de los diferentes sectores con características propias, como se muestran en la Figura 4-9. En particular se eligieron calles de la cuenca urbana, entre ellas las correspondientes a la cuenca media - alta del arroyo Regimiento (subcuenca y principal afluente del arroyo del Gato), cuenca urbana media - alta del arroyo Pérez (afluente del anterior) y a la cuenca baja urbana del arroyo Regimiento, en la zona de Tolosa.

Las cuencas urbanas medias - altas reciben el agua que precipita sobre ellas y establecen un escurrimiento con características propias, hasta alcanzar nodos con sumideros, o continúan sus escurrimientos en forma superficial hacia aguas abajo y, en especial, cuando se producen excedentes hídricos. La cuenca urbana baja elegida recibe, además del agua que precipita sobre ella, los excedentes superficiales que escurren desde las anteriores.

Actualmente el arroyo Regimiento se encuentra entubado dentro del casco urbana, manteniendo una condición muy semejante a la natural (está actualmente canalizado en algunos sectores) a cielo abierto, en las nacientes de la subcuenca.

Figura 4-9.- Red pluvial existente al año 2013 y con los derivadores incorporados a la canalización del arroyo del Gato. Zonas de la red mayor en estudio particularizado.

Cuenca baja en Tolosa.

Comenzando desde la cuenca baja, se tienen algunas calles características próximas a su descarga al arroyo del Gato como 3 y 515 y 9 y 516; la calle 9 y 523 bis tiene

la particularidad de ser la zona donde confluían el arroyo Pérez con el arroyo Regimiento. En estas calles existían cauces o depresiones naturales que formaban bajos y lagunas temporarias:

Ubicación de los nodos (calles) en la cuenca baja urbana en Tolosa correspondiente al arroyo del Gato.

Figura 4-10.- Alturas de agua en calle 3 y 515, próxima al arroyo del Gato. R= 25 años. Los resultados para la Fase 1, situación al año 2013 es la más crítica, coincidiendo los resultados para el resto de las fases.

Figura 4-11.- Alturas de agua en calle 3 y 515, próxima al arroyo del Gato. R= 100 años. Los resultados para la Fase 1, situación al año 2013 es la más crítica, coincidiendo los resultados para el resto de las fases.

Figura 4-12.- Alturas de agua en calle 9 y 516, próxima al arroyo del Gato, aguas arriba de la anterior. R= 25 años. No hay cambios en los resultados, cualquiera sea la fase estudiada. Para esta recurrencia todos los niveles son prácticamente iguales.

Figura 4-13.- Alturas de agua en calle 9 y 516, próxima al arroyo del Gato, aguas arriba de la anterior. R= 100 años. Para esta recurrencia es más evidente el exceso de agua en calles y se diferencian los resultados según la fase estudiada.

Figura 4-14.- Alturas de agua en calle 9 y 523 bis. R= 25 años. Para esta recurrencia los niveles son semejantes para todas las fases estudiadas.

Figura 4-15.- Alturas de agua en calle 9 y 523 bis. R= 100 años. Los niveles se diferencian según las fases mostrando mayor impacto la Fase 3b con túneles.

Las Figuras 4-10 a 4-15 presentan los resultados de la modelación matemática urbana para los eventos en estudio. Muestran los niveles de agua en calles y su permanencia. Cuando el agua supera, en valores medios, los 40 cm en calles, se consideró que el agua ha ingresado a las viviendas.

Se evidenció la participación de los excedentes de las áreas de aporte de cuencas superiores en forma superficial manifestado en el segundo pico de crecida, que, sumados a las variaciones de intensidad de la precipitación, indicaron el aporte de agua local y el aporte de agua derivada de las cuencas inmediatas superiores.

Cuenca media – alta del arroyo Regimiento:

Dentro de la cuenca urbana del arroyo Regimiento se han elegido tres calles próximas a la traza natural del cauce semipermanente, como 67 y 27 y 61 y 22. Se ha elegido también a la calle de 57 y 17, que es más céntrica que las anteriores, pero manifiesta en menor medida la influencia de las obras.

En las figuras que se presentan a continuación, 4-16 a 4-21, se muestran los niveles de agua en calle, en función del tiempo, para varias calles representativas de diferentes situaciones dentro de la subcuenca, para recurrencias de 25 y 100 años.

Ubicación de los nodos (calles) en la cuenca media alta urbana del arroyo Regimiento.

Figura 4-16.- Alturas de agua en calle 67 y 27. R= 25 años. Se observa el cambio por la ejecución de la Fase 2, no se observan cambios por implementación de los ARTEH y sí se presentan cambios por implementación de túneles.

Figura 4-17.- Alturas de agua en calle 67 y 27. R= 100 años. Se observa el cambio por la ejecución de la Fase 2, no se observan cambios por implementación de los ARTEH y sí se presentan cambios por implementación de túneles.

Figura 4-18.- Alturas de agua en calle 61 y 22. R= 25 años. Se observa el cambio por la ejecución de la Fase 2, no se observan cambios por implementación de los ARTEH y sí se presentan cambios por implementación de túneles.

Figura 4-19.- Alturas de agua en calle 61 y 22. R= 100 años. Se observa el cambio por la ejecución de la Fase 2, no se observan cambios por implementación de los ARTEH y sí se presentan cambios por implementación de túneles.

Figura 4-20.- Alturas de agua en calle 57 y 17. R= 25 años. Los cambios observados en base a los resultados muestran cambios en el volumen de agua excedente, aunque no en los máximos niveles alcanzados.

Figura 4-21.- Alturas de agua en calle 57 y 17. R= 100 años. Los cambios observados en base a los resultados muestran cambios en el volumen de agua excedente, aunque no en los máximos niveles alcanzados.

Cuenca media – alta del arroyo Pérez.

Dentro de la cuenca urbana del arroyo Pérez, ingresando próximo a la avenida 38, se han elegido tres calles próximas a la traza natural del cauce, y relacionadas con las obras de la Fase 2. Se espera ver los cambios por las obras realizadas. Las calles elegidas son las de 18 y 531, la de 17 y 34 y la avenida 38 y 142.

Ubicación de los nodos (calles) en la cuenca media alta urbana del arroyo Pérez.

Figura 4-22.- Alturas de agua en calle 38 y 132. R= 25 años. No se observan cambios relevantes ni en niveles ni volúmenes.

Figura 4-23.- Alturas de agua en calle 38 y 132. R= 100 años. El mayor impacto corresponde a la Fase 2.

Figura 4-24.- Alturas de agua en calle 17 y 34. R= 25 años. Los túneles aparecen sacando el agua excedente de calle a medida que la influencia de se hace notoria.

Figura 4-25.- Alturas de agua en calle 17 y 34. R= 100 años. A mayor recurrencia se hace más evidente el exceso de agua superficial y las bondades de las obras de túneles.

Figura 4-26.- Alturas de agua en calle 18 y 531. R= 25 años. No se observan cambios en los escurrimientos superficiales entre las diferentes fases analizadas.

Figura 4-27.- Alturas de agua en calle 18 y 531. R= 100 años.

En las Figuras 4-22 a 4-27 se presentaron los resultados de las diferentes modelaciones para recurrencias de 25 y de 100 años.

Los resultados de las alturas de agua en calles, discriminados por alturas características, se presenta a continuación en mapas donde figuran las alturas de agua en calles para toda la cuenca analizada.

Aquí se muestran las correspondientes a recurrencias de 25 años. En el capítulo 8, planos, se presenta la serie completa de mapas elaborados para todas las recurrencias estudiadas.

Figura 4-28.- Mapa de profundidades para alturas del agua de 0,30 m, 0,60m, 1,05 m, 1,65 m y mayores. R= 25 años. Fase 2. Situación actual.

Figura 4-29.- Mapa de profundidades para alturas del agua de 0,30 m, 0,60m, 1,05 m, 1,65 m y mayores. R= 25 años. Fase 3a, con reservorios.

Figura 4-30.- Mapa de profundidades para alturas del agua de 0,30 m, 0,60m, 1,05 m, 1,65 m y mayores. R= 25 años. Fase 3b, con túneles.

4.4 RESULTADOS EN LA RED MENOR DE DRENAJE PLUVIAL

Figura 4-31.- Red pluvial existente al año 2013 y con los derivadores incorporados a la canalización del arroyo del Gato.

Figura 4-32.- Red pluvial existente al año 2013 y con los derivadores incorporados a la canalización del arroyo del Gato Fase 2.

4.4.1 RESULTADOS EN LA RED MENOR DE DRENAJE, CONDUCTOS PRINCIPALES - TRONCALES

La red de conductos fue construida con el fin de realizar un saneamiento pluvial (evitar agua en calles y los inconvenientes derivados de esta), para lluvias de alta probabilidad. Para otros eventos, los volúmenes de agua precipitada y la intensidad de la tormenta, superan holgadamente la capacidad existente del drenaje de los conductos. Los caudales resultantes de eventos mayores superan a los de diseño de los conductos, evolucionan en su funcionamiento desde escurrir a superficie libre dentro de los conductos, pasando por una transición, para escurrir posteriormente a presión. El escurrimiento queda gobernado por las pendientes de las líneas de energía que adquieren cotas superiores a la topografía del lugar, manifestado, en consecuencia, por la presencia de agua en calles. Esto queda bien representado en las modelaciones matemáticas.

Además, los tiempos de tránsito del agua se acortan ya que los conductos son más eficientes que un escurrimiento sobre el terreno y pueden trabajar a presión. Hay un desfase temporal sobre los picos de crecida de la cuenca, del agua en calle y del agua en conductos. Y sucede para todas las tormentas independientemente de su probabilidad de ocurrencia.

Se presentan los resultados de las modelaciones para diferentes conductos principales en sus tramos previos a las descargas al arroyo del Gato, para los eventos de recurrencia 25 y 100 años y para las distintas fases previstas: Fase 1, situación al año 2013, Fase 2, situación actual, Fase 3a, con implementación de reservorios de atenuación (ARTEH) y Fase 3b, con la implementación de 2 túneles.

El objeto siguiente es analizar hidrodinámicamente a cada uno de los troncales de la cuenca.

4.4.1.1 RESULTADOS CONDUCTO TRONCAL DE CALLE 11: TRAMO PREVIO A LA DESCARGA.

El análisis del conducto troncal de calle 11, en su tramo final desde avenida 526 hasta su desembocadura, está conformado por 3 conductos rectangulares de 5,00 m de ancho y 2,20 m de alto cada uno. Desde la avenida 526 y hasta la calle 532, tramo que se analizó a continuación, el conducto está conformado por dos secciones modelo de 3,20 m en su base mayor y 1,92 m de alto. En el nodo de la avenida 526 colecta las aguas provenientes desde calle 7 a través de tres conductos parabólicos de 3,10 m de ancho y 1,70 m de alto; y por calle 525 bis y desde calle 14, afluyen 2 conductos rectangulares de 5,00 m de ancho y 2,20 m de alto. Ver Figuras 4-31, 4-32.

Las pendientes de los conductos, troncales y ramales, acompañan a la pendiente del terreno natural. Se ha trabajado sobre los perfiles longitudinales de los conductos que luego son mostrados a través del funcionamiento hidrodinámico.

Este troncal constituye el drenaje natural de la cuenca del arroyo Regimiento, siguiendo las pendientes regionales, y queda subdividido en varias subcuencas que

aportan a este conducto. En su último tramo, a través del conducto bajo calle 14, recoge las aguas del arroyo Pérez.

Todos estos sistemas y subsistemas presentados conforman la red de drenaje menor que aporta a la desembocadura al arroyo del Gato en las inmediaciones de calle 11 y 517.

En las figuras 4-33 y 4-34 se adjuntan los perfiles longitudinales y secciones del conducto troncal de calle 11.

Figura 4-33.- Perfil longitudinal del conducto troncal de calle 11 desde Plaza Moreno hasta avenida 526, con sus variadas secciones

Figura 4-34.- Perfil longitudinal del conducto de calle 14 hasta avenida 526 y tramo final por calle 11, hasta la desembocadura, con sus variadas secciones.

Se presentan a continuación hidrogramas y gráficos resultantes de la modelación matemática de las conducciones, simulados con las tormentas de recurrencia 25 y 100 años. Figuras 4-35 a 4-42. Para las diferentes fases, se presentan los hidrogramas en cada recurrencia analizada y posteriormente se realizó una tabla resumen con todos los resultados de las diferentes tormentas analizadas.

- Para la recurrencia de 25 años se obtuvo:

Figura 4-35.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-36.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 2, situación actual.

Figura 4-37.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-38.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final, correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 3b, situación con túneles.

- Para la recurrencia de 100 años se obtuvo:
-

Figura 4-39.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 100 años. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-40.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 100 años. Fase 2, situación actual.

Figura 4-41.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 100 años. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-42.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo final correspondiente al tramo desde calle 532 hasta su desembocadura. R= 100 años. Fase 3b, situación con túneles.

En el mismo sentido, se presentan los perfiles hidrodinámicos de los conductos, en el intervalo de funcionamiento a presión, para las 3:30 h de modelación, y se obtuvo, para la recurrencia de 25 años, las Figuras 4-43 a 4-50. Nótese que la parte superior de cada nodo indica la cota del terreno natural.

Figura 4-43.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-44.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 2, situación actual.

Figura 4-45.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-46.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 3b, situación con túneles.

- Y para la recurrencia de 100 años:

Figura 4-47.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-48.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 2, situación actual.

Figura 4-49.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-50.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto troncal de calle 11 desde 532 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 3b, situación con túneles.

El máximo caudal modelado que escurrió a través de los conductos fue cercano a los 80,0 m³/s, tanto para recurrencias de 25 años como de 100 años, salvo para la Fase 3b, en el caso de recurrencia de 25 años, con caudales de 70,0 m³/s.

4.4.1.2 RESULTADOS CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 25: TRAMO PREVIO A SU DESCARGA

Este conducto derivador capta aguas de la cuenca alta urbana del arroyo Regimiento y las conduce bajo la avenida 25 desde el Parque Castelli hasta su desembocadura en el arroyo del Gato, a las inmediaciones de las calles 25 y 522. Suma en sus progresivas derivaciones parciales de las cuencas del arroyo Pérez, en particular los excedentes que no son captados por los conductos propios de su cuenca. Capta el agua superficial que ingresa al casco urbano.

El tramo de descarga del conducto troncal consiste en dos conductos de sección parabólica con un ancho máximo de 5,40 m y una altura de 2,95 m. Este tramo comienza en avenida 25 y 36 hasta su desembocadura. Aguas arriba queda materializado por un conducto de sección circular de 3,75 m de diámetro. En el nodo de calle 25 y 36 afluye un conducto parabólico que drena las aguas de la cuenca del arroyo Pérez que superan la capacidad de drenaje del otro conducto troncal que desagua por calle 30.

Figura 4-51.- Perfil longitudinal del conducto de calle 25 hasta su desembocadura.

Con respecto al funcionamiento del conducto derivador se puede mencionar que fue semejante al descrito anteriormente. También el funcionamiento de los conductos superó a sus condiciones de diseño, y los gráficos que se presentan a continuación solo agregan aportes de calle, desde las bocas de tormenta ubicadas sobre el conducto.

El máximo caudal modelado que escurrió a través de los conductos fue cercano a los 60,0 m³/s. Los hidrogramas se presentan en las figuras 4-52 a 4-59.

- Para la recurrencia de 25 años se obtuvo:

Figura 4-52.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo del final del tramo que va desde calle 25 y 36 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-53.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo del final del tramo que va desde calle 25 y 36 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 2, situación actual.

Figura 4-54.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo del final del tramo que va desde calle 25 y 36 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-55.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto troncal, en un nodo del final del tramo que va desde calle 25 y 36 hasta su desembocadura. R= 25 años. Fase 3b, situación con túneles.

- Para la recurrencia de 100 años se obtuvo:

Figura 4-56.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador troncal de avenida 25. R= 100 años. Fase 1, situación al año 2013. Se representa el nodo previo a su desembocadura.

Figura 4-57.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador troncal de avenida 25. R= 100 años. Fase 2, situación actual. Se representa el nodo previo a su desembocadura.

Figura 4-58.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador troncal de avenida 25. R= 100 años. Fase 3a, Situación con reservorios. Se representa el nodo previo a su desembocadura.

Figura 4-61.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 25 desde 36 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 2, situación actual.

Figura 4-62.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 25 desde 36 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-63.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 25 desde 36 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 3b, situación con túneles.

- Y para la recurrencia de 100 años:

Figura 4-64.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 25 desde 36 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-65.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 25 desde 36 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 2, situación actual.

Figura 4-66.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 25 desde 36 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-67.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 25 desde 36 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 3b, situación con túneles.

4.4.1.3 RESULTADOS CONDUCTO DERIVADOR DE CALLE 30: TRAMO PREVIO A SU DESCARGA

Por último, el conducto troncal de calle 30, también es un conducto derivador ya que capta las aguas correspondientes a la cuenca del arroyo Pérez y las deriva hacia el arroyo del Gato por la calle 30. Deriva aguas tanto del brazo medio del arroyo Pérez, captando aguas en 131 y 44 como del brazo norte, captando y derivando en avenida 131 y calle 36.

El conducto, en este tramo, es de sección circular de 2,00 m de diámetro. Tiene una cámara en calle 36 que, a través de un orificio, permite derivar parte de los caudales hacia el conducto troncal de calle 25. Esa derivación está materializada por un vertedero en la pared del conducto aguas arriba, que permite regular los caudales derivados hacia uno u otro sistema. Al ser superada la capacidad prevista para su derivación por calle 30, vierte sus excedentes hacia el sistema de calle 25. Todas estas circunstancias fueron tenidas en cuenta cuando se generó el modelo matemático. En la Figura 4-68 se presenta el perfil longitudinal y las secciones del conducto.

Figura 4-68.- Perfil longitudinal del conducto de calle 30 desde su inicio principal hasta su desembocadura.

Se presentan los hidrogramas, en el conducto previo a su descarga, y los niveles variables asociados, en función del tiempo, en las Figuras 4-69 a 4-76.

- Para la recurrencia de 25 años se obtuvo:

Figura 4-69.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 25 años.
Fase 1, situación al año 2013. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

Figura 4-70.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 25 años.
Fase 2, situación actual. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

Figura 4-71.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 25 años.
Fase 3a, situación con reservorios. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

Figura 4-72.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 25 años. Fase 3b, situación con túneles. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

- Para la recurrencia de 100 años, se obtuvo:

Figura 4-73.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 100 años. Fase 1, situación al año 2013. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

Figura 4-74.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 100 años. Fase 2, situación actual. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

Figura 4-75.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 100 años. Fase 3a, Situación con reservorios. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

Figura 4-76.- Caudales y tirantes de agua dentro del conducto derivador de calle 30. R= 100 años. Fase 3b, situación con túneles. Nodo previo a su descarga al arroyo del Gato.

El máximo caudal erogado fue del orden de los 20,0 m³/s en Fase 1 y luego, por la implementación de las obras realizadas, bajó a menos de 15,0 m³/s.

Se presentan los perfiles hidrodinámicos de los conductos, en el intervalo de funcionamiento a presión, y se obtuvieron las Figuras 4-77 a 4-84. Para la recurrencia de 25 años:

Figura 4-77.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-78.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 2, situación actual.

Figura 4-79.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-80.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 25 años. Hora 3:30. Fase 3b, situación con túneles.

- Y para la recurrencia de 100 años:

Figura 4-81.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-82.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 2, situación actual.

Figura 4-83.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-84.- Funcionamiento hidrodinámico del conducto derivador de calle 30 desde 531 a la desembocadura. R= 100 años. Hora 3:30. Fase 3b, situación con túneles.

4.4.1.4 OTROS CONDUCTOS TRONCALES

La zona conocida como Barrio Hipódromo drena sus aguas a través de un conducto derivador ubicado bajo avenida 122, desde la Diagonal 74 hasta proximidades de la calle 43, de sección parabólica; y hasta la calle 50 continúa con conductos circulares de menores dimensiones, de 80,0 cm y de 60,0 cm.

Este conducto se encuentra cerca del límite modelado de la cuenca, lindante con el partido de la Ensenada, y por la diferencia existente de cotas del terreno, consecuencia de la conformación geológica de la antigua franja costera y el antiguo estuario interior, hace que los excedentes hídricos superficiales vierten en dirección al Río de La Plata, escapando de este análisis matemático. Análisis Ambiental del partido de La Plata, (Cabral & al., 2006).

No se detalla el funcionamiento de los conductos, aunque es claro que la situación generada por esta tormenta fue generalizada para toda la cuenca.

4.4.2 RESULTADOS EN EL CURSO PRINCIPAL DEL ARROYO DEL GATO

El modelo matemático utilizado para el análisis de las consecuencias pluviales en la cuenca, fue contrastado y validado en el cauce del arroyo del Gato, con otro modelo matemático. Los resultados obtenidos con el modelo de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU., SWMM, arrojaron valores de caudales -y niveles- aportados al cauce del arroyo, en distintas ubicaciones o tramos del cauce principal, en correspondencia con la descarga de los conductos troncales y derivadores.

Con estos datos resultantes y con relevamientos existentes de las batimetrías del cauce anteriores al año 2013, relevadas con motivo del trabajo e informe elaborado por la Unidad de Hidrología del Departamento de Hidráulica, en el período 2004 - 2007, (Romanazzi, P.; Urbiztondo, J., 2007), en el cual este tesista ha participado como integrante en dicha unidad, se modeló el cauce con el Software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. - HEC-RAS. (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 2015).

El mayor problema derivado de este modelo matemático radicó en la conformación del escurrimiento paralelo al cauce con los obstáculos representados por el amanzanamiento y calles.

Los resultados confirmaron los valores alcanzados por el modelo matemático SWMM, teniendo el HEC-RAS bondades en la modelación de puentes y alcantarillas.

Figura 4-85.- Arroyo del Gato. Tramo de estudio desde avenida 143 hasta puente FF.CC. Gral. Roca.

El efecto de la curva de remanso generada por la presencia del puente ferroviario, pudo ser contrastada y ratificaron matemáticamente los resultados del modelo SWMM. Los resultados comparados, aguas arriba y aguas abajo del puente ferroviario (que posteriormente fue reemplazado por un viaducto) permitieron

establecer que se generó un embalse de agua para el evento pluvial del año 2013, regulando los caudales erogados por el puente, funcionando este como orificio. Figuras 4-86 y 4-87.

Figura 4-86.- Cauce del arroyo del Gato, aguas abajo del puente del FF.CC. Roca al año 2013. Caudales y tirantes de agua.

Figura 4-87.- Cauce del arroyo del Gato, aguas arriba del puente del FF.CC. Roca al año 2013. Caudales y tirantes de agua.

Esa diferencia de caudales, de entre 80,0 a 90,0 m³/s, se tradujo en una curva de remanso, que tuvo cota de 5,70 m IGM, muy próxima a la cota de rieles. Esta cota determinó la cota de inundación en calles próximas al arroyo, la cual fue relevada en campo.

Los caudales aguas abajo del puente del FF.CC. Roca se estimaron matemáticamente en 420,0 m³/s. Vale indicar que aguas abajo del terraplén se suman aportes de otros caudales pluviales de la zona de Tolosa, a través de un conducto paralelo al terraplén ferroviario ubicado aguas abajo, como también otros aportes de la zona urbana ubicada aguas abajo de la calle 7. El hecho puntual fue que el puente ferroviario generó una obstrucción al escurrimiento dado su escasa capacidad de

descarga sumando al hecho que uno de sus cuatro vanos originales fue obturado para conformar una calle que vinculara las zonas separadas por el terraplén.

Entonces los tirantes líquidos se elevaron con el fin de aumentar la carga hidráulica que permitiera compensar las pérdidas de energía presentes por la presencia del puente. Esto se tradujo en la curva de remanso mencionada. En las modelaciones matemáticas, en función de caudales secundarios, de la longitud del tramo y del tiempo de modelación, suelen presentar inestabilidades matemáticas que en el caso de la canalización del arroyo del Gato (Fase 2) se corrigen, en parte, por la capacidad aumentada del mismo.

Se presentan en las Figuras 4-88 a 4-95 los resultados aguas arriba del puente / viaducto ferroviario, de los caudales y tirantes en el arroyo del Gato, para las recurrencias de 25 y 100 años.

- Para la recurrencia de 25 años se obtuvo:

Figura 4-88.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 25 años. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-89.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 25 años. Fase 2, situación actual.

Figura 4-90.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 25 años. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-91.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 25 años. Fase 3b, situación con túneles.

- Para la recurrencia de 100 años se obtuvo:

Figura 4-92.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 100 años. Fase 1, situación al año 2013.

Figura 4-93.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 100 años. Fase 2, situación actual.

Figura 4-94.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 100 años. Fase 3a, situación con reservorios.

Figura 4-95.- Caudales y tirantes aguas arriba viaducto ferroviario. R= 100 años. Fase 3b, situación con túneles.

4.4.3 RESULTADOS DE LA RED MENOR DE DRENAJE. CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS PARA TODOS LOS EVENTOS MODELADOS.

Gráficos resultantes. La Figura 4-96 presenta los resultados de los caudales máximos erogados por cada uno de los troncales y derivadores de calle 11, 25 y 30 para todas las probabilidades de tormentas analizadas. El conducto troncal de calle 11 presenta un cambio significativo, para altas probabilidades, bajas recurrencias, con la implementación de túneles.

Figura 4-96.- Caudales máximos erogados por conductos troncales. Fases 1, 2, 3a y 3b en función de la probabilidad.

Figura 4-97.- Caudales máximos erogados Aguas Arriba 143 y Aguas Abajo FF.CC. en arroyo del Gato. Fases 1, 2, 3a y 3b en función de la probabilidad.

La Figura 4-97 presenta los resultados de los caudales máximos erogados por la nueva canalización del arroyo del Gato. Los resultados mantienen las tendencias de escurrimiento mostrando un aumento en los caudales máximos respecto de la situación existente al año 2013 para el tramo aguas abajo.

Figura 4-98.- Caudales máximos erogados por Conductos Derivadores Actuales (Fase 2). Fases 2, 3a y 3b en función de la probabilidad.

La Figura 4-98 presenta las medidas estructurales ejecutadas en la Etapa 1. Los derivadores no presentan cambios ni en caudales máximos ni en tendencia de aumento en su capacidad de erogación en función de la recurrencia, salvo para el conducto de 139, que capta los caudales erogados del ARTEH de calle 38 y 143.

Tablas resultantes:

SITUACION AL AÑO 2013						
Recurrencia [años]	Caudales Máximos [m³/s]					
	Ag Arriba 143	Conducto 30	Conducto 25	Conducto 11	Conducto 1	Ag Abajo FFCC
2	22,49	14,04	44,64	69,19	0,69	93,55
5	35,03	16,86	51,96	76,29	0,76	147,54
10	44,35	17,66	55,74	81,90	0,78	151,85
25	64,02	18,93	61,04	78,17	0,84	167,66
50	73,96	19,38	63,01	75,23	0,82	169,85
100	82,23	19,96	65,77	80,81	0,81	181,43
500	97,80	21,20	64,32	77,52	0,82	197,28
PMP 12hs	320,29	30,73	66,75	80,23	0,84	558,93

Tabla 4-1.- Caudales erogados por los conductos troncales, y por el arroyo del Gato aguas arriba de 143 y aguas abajo del FF.CC. Fase 1, situación al año 2013.

SITUACION CON OBRAS PROYECTADAS DE CANALIZACIONES Y DERIVADORES DE 143, 139 y 131									
Recurrencia	Caudales Máximos [m³/s]								
[años]	Ag Arriba 143	Derivador 143	Derivador 139	Derivador 131	Conducto 30	Conducto 25	Conducto 11	Conducto 1	Ag Abajo FFCC
2	22,87	4,64	0,74	34,35	2,90	40,40	70,23	0,70	145,46
5	34,68	6,59	1,28	41,73	6,50	50,17	76,95	0,76	187,57
10	42,78	7,86	1,69	44,87	8,00	54,32	81,85	0,79	205,32
25	54,89	10,34	2,91	54,06	10,43	61,48	80,77	0,80	248,23
50	60,68	11,71	2,99	58,25	11,69	64,20	82,10	0,80	261,84
100	66,17	13,13	3,21	62,99	12,98	66,40	81,32	0,81	278,39
500	77,08	15,86	4,96	72,91	15,35	69,57	79,85	0,81	324,92
PMP 12hs	283,74	28,87	28,61	122,6	25,04	69,56	81,85	0,85	732,36

Tabla 4-2.- Caudales erogados por los conductos troncales y derivadores, y por el arroyo del Gato aguas arriba de 143 y aguas abajo del FF.CC. Fase 2, situación actual.

SITUACION CON OBRAS PROYECTADAS DE CANALIZACIONES Y DERIVADORES DE 143, 139 y 131 IMPLEMENTADOS LOS RESERVORIOS DE ATENUACIÓN DE CRECIDAS ARTEH									
Recurrencia	Caudales Máximos [m³/s]								
[años]	Ag Arriba 143	Derivador 143	Derivador 139	Derivador 131	Conducto 30	Conducto 25	Conducto 11	Conducto 1	Ag Abajo FFCC
2	22,22	4,95	2,21	34,35	2,89	40,40	70,23	0,70	135,65
5	32,60	6,63	4,34	41,84	6,42	50,17	76,95	0,76	170,94
10	40,22	7,88	5,78	44,87	8,00	54,32	81,85	0,79	184,34
25	55,67	9,95	8,78	53,45	10,53	61,48	80,77	0,80	219,91
50	65,40	11,74	11,81	58,25	11,77	64,20	83,84	0,80	237,45
100	76,02	13,54	16,21	63,19	12,98	66,40	82,82	0,81	259,37
500	102,80	16,33	20,10	73,33	15,44	69,57	79,85	0,81	313,09
PMP 12hs	385,51	26,50	31,70	122,54	24,47	70,44	82,12	0,85	711,65

Tabla 4-3.- Caudales erogados por los conductos troncales y derivadores, y por el arroyo del Gato aguas arriba de 143 y aguas abajo del FF.CC. Fase 3a, situación con reservorios.

SITUACION CON OBRAS PROYECTADAS DE CANALIZACIONES Y DERIVADORES DE 143, 139 y 131 Y TUNELES										
Recurrencia	Caudales Máximos [m³/s]									
[años]	Ag Arriba 143	Derivador 143	Derivador 139	Derivador 131	Conducto 30	Conducto 25	Conducto 11	Conducto 1	Ag Abajo FFCC	Salida Túnel 1
2	22,88	4,70	0,74	34,32	2,88	30,22	34,89	0,70	100,51	51,83
5	34,69	6,73	1,27	41,37	6,54	42,28	46,79	0,76	140,22	60,29
10	42,76	8,15	1,71	44,49	7,98	48,45	54,27	0,79	166,80	81,93
25	54,87	10,07	2,81	53,29	10,36	56,30	69,29	0,80	224,61	93,97
50	60,71	11,20	3,02	58,05	11,65	59,99	78,14	0,80	244,68	94,70
100	66,17	12,31	3,18	62,54	12,95	62,47	79,22	0,81	262,83	99,14
500	77,09	14,68	4,02	72,36	15,35	66,65	81,81	0,81	313,25	99,73
PMP 6hs	283,89	26,97	28,66	126,57	25,08	68,00	81,12	0,85	668,51	94,75

Tabla 4-4.- Caudales máximos erogados, para cada recurrencia de cálculo, por cada uno de los conductos troncales y derivadores que aportan al canal del arroyo del Gato, y caudales del túnel
1. Fase 3b.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO

*Confía en el tiempo, que suele dar dulces
salidas a muchas amargas dificultades.*

*Miguel de Cervantes (1547-1616) Escritor
español.*

5 RESULTADOS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO

5.1 INTRODUCCIÓN

Obtenidos los resultados hidráulicos e hidrodinámicos del agua en calles se procedió a la cuantificación del riesgo para las diferentes fases estudiadas y para todas las tormentas de acuerdo a su probabilidad.

Se ponderaron anualmente los riesgos para cada evento pluvial tanto a personas afectadas (accidentes y fallecimientos esperables), y a viviendas, con la cuantificación de daños económicos, incluyendo los daños a la vía pública.

5.2 RESULTADOS PARA LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS Y PROBABILIDADES

La forma de cuantificar al riesgo se basa en la determinación de la severidad para cada tormenta analizada y en base a ella determinar las afectaciones a personas; y en forma complementaria, con las alturas de agua se determinaron los daños en viviendas y en la vía pública.

El primer resultado calculado correspondió a la tormenta de los días 2 y 3 de abril de 2013, cuyos daños fueron relevados por la sociedad y medios de comunicación, como también por la justicia. Estos han permitido validar los resultados de la aplicación de la normativa.

La vulnerabilidad del área, vinculada a las alertas, tiempos de concentración y tipo de viviendas, no fue igual para toda la cuenca, pero adoptando valores entre 6 y 9 la cantidad de heridos y muertes esperables sería (según aplicación matemática de las fórmulas propuestas):

5.2.1 RESULTADOS PARA LA TORMENTA DE LOS DÍAS 2 Y 3 DE ABRIL DE 2013.

Para el evento de los días 2 y 3 de abril de 2013 se obtuvo:

Vulnerabilidad del Área AV	Número de habitantes en la cuenca que pueden ser:			
	Heridos (esperables)	Heridos (corregido por el feriado)	Fallecidos (esperables)	Fallecidos (corregidos por el feriado)
6	3715	2415	202	131
9	5600	3640	326	212

Tabla 5-1.- Personas heridas y fallecidas según normativa europea.

Ponderando el fin de semana largo, feriados de Semana Santa y Conmemoración de Héroes de las Islas Malvinas, estos números pueden ser corregidos y presentados en la misma tabla. Todos estos datos fueron elaborados según el Censo Nacional de Personas y Viviendas del año 2010.

Figura 5-1. Niveles de agua para la tormenta del día 2 de abril de 2013. Fase 1.

Figura 5-2. Velocidades del agua en calles para la tormenta del día 2 de abril de 2013. Fase 1.

Figura 5-3. Severidad agua en calles para la tormenta del día 2 de abril de 2013. Fase 1.

Daños económicos:

Con respecto a los daños económicos, se consideraron a los bienes públicos y a las viviendas particulares. En ambos casos, los daños varían según los niveles del agua alcanzados en cada caso.

Viviendas:

El total de daños calculados, según las consideraciones tenidas en cuenta, ascendió a la suma de 1.986 millones de dólares (frente a los 500 / 700 millones de dólares estimados por los medios de información).

Cantidad de viviendas afectadas:

Con respecto a la cantidad de viviendas afectadas con agua dentro de ellas los cálculos realizados alcanzaron a 74.586 viviendas, levemente superior a las 70.000 viviendas relevadas e informadas.

Daños a vehículos:

En relación a la cantidad de vehículos siniestrados se debió considerar, en primer lugar, que los 40.000 vehículos informados responden a un parque automotor que es temporal y válido para el año 2013.

Algunos vehículos no se encontraban en la ciudad ya que viajaron por el fin de semana y, teniendo la misma consideración que para las personas, se obtendría un valor de vehículos siniestrados, atenuando por la incidencia del fin de semana feriado, de 61.248. Este valor corresponderá, nuevamente, a una máxima capacidad –en dicho día– la cual sigue siendo una condición de máxima.

El coeficiente resultante teórico entre siniestros posibles, así determinado, sobre los realmente ocurridos, arrojó un valor para la ciudad de La Plata y válido para el año 2013 de 0.65. Este coeficiente solo es válido para la forma estimada de cálculo. Al aumentar el parque automotor este coeficiente debería acompañar este aumento.

Tomando como valor de referencia para estimar daños, 6.500 dólares por unidad siniestrada, los daños por este concepto habrían alcanzado los 259 millones de dólares.

5.2.2 RESULTADOS PARA TODAS LAS TORMENTAS ESTUDIADAS

Para la determinación de Heridos y Fallecidos esperables se obtuvo, de la aplicación de las normativas europeas SUFRI:

Figura 5-4. Niveles de agua para la tormenta de R= 50 años. Fase 2. Situación actual.

Figura 5-5. Severidad agua en calles para la tormenta de R= 50 años. Fase 2. Situación actual.

Figura 5-6. Niveles de agua para la tormenta de R= 50 años. Fase 3b. Situación con túneles.

Figura 5-7. Severidad agua en calles para la tormenta de R= 50 años. Fase 3b. Situación con túneles.

Para las personas afectadas se obtuvo:

Personas Afectadas / Muertas por Inundación													
R	Frecuencia 1 / R	AV = 3				AV = 6				AV = 9			
		Fase 1: Situación al 2013				Fase 1: Situación al 2013				Fase 1: Situación al 2013			
		Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %
2	0.5	212	106	0	0	582	291	0	0	812	406	0	0
5	0.2	359	72	0	0	745	149	0	0	1062	212	0	0
10	0.1	448	45	0	0	850	85	0	0	1259	126	0	0
25	0.04	569	23	0	0	1029	41	0	0	1555	62	0	0
50	0.02	640	13	0	0	1166	23	1	0	1791	36	2	0
100	0.01	705	7	0	0	1321	13	2	0	2012	20	3	0
200	0.005	772	4	0	0	1457	7	3	0	2216	11	5	0
500	0.002	865	2	2	0	1678	3	5	0	2549	5	8	0
2de Abril		1840		74		3715		202		5600		326	
PMP		2631		146		5334		372		8026		587	
Totales Anuales Ponderados		271				613				879			

Tabla 5-2. Personas afectadas y muertes esperables para la Fase 1, según la vulnerabilidad posible del área de estudio.

Personas Afectadas / Muertas por Inundación													
R	Frecuencia 1 / R	AV = 3				AV = 6				AV = 9			
		Fase 2: Situación Actual				Fase 2: Situación Actual				Fase 2: Situación Actual			
		Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %
2	0.5	197	99	0	0	569	285	0	0	784	392	0	0
5	0.2	334	67	0	0	701	140	0	0	985	197	0	0
10	0.1	427	43	0	0	794	79	0	0	1175	118	0	0
25	0.04	538	22	0	0	968	39	0	0	1474	59	0	0
50	0.02	593	12	0	0	1090	22	0	0	1671	33	0	0
100	0.01	654	7	0	0	1232	12	0	0	1867	19	0	0
200	0.005	725	4	0	0	1344	7	0	0	2055	10	0	0
500	0.002	806	2	0	0	1545	3	0	0	2337	5	0	0
2de Abril		1671		56		3364		143		5070		247	
PMP		2437		94		4948		279		7430		456	
Totales Anuales Ponderados		253				587				832			

Tabla 5-3. Personas afectadas y muertes esperables para la Fase 2, según la vulnerabilidad posible del área de estudio.

Personas Afectadas / Muertas por Inundación													
R	Frecuencia 1 / R	AV = 3				AV = 6				AV = 9			
		Fase 3a: Situación Con Reservorios				Fase 3a: Situación Con Reservorios				Fase 3a: Situación Con Reservorios			
		Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %
2	0.5	194	97	0	0	569	285	0	0	782	391	0	0
5	0.2	334	67	0	0	703	141	0	0	990	198	0	0
10	0.1	431	43	0	0	799	80	0	0	1177	118	0	0
25	0.04	536	21	0	0	965	39	0	0	1474	59	0	0
50	0.02	595	12	0	0	1093	22	0	0	1670	33	0	0
100	0.01	660	7	0	0	1228	12	0	0	1873	19	0	0
200	0.005	718	4	0	0	1339	7	0	0	2057	10	0	0
500	0.002	805	2	0	0	1540	3	0	0	2347	5	0	0
2de Abril		1581		41		3203		127		4811		213	
PMP		2374		86		4807		264		7217		440	
Totales Anuales Ponderados		252				588				833			

Tabla 5-4. Personas afectadas y muertes esperables para la Fase 3a, según la vulnerabilidad posible del área de estudio.

Personas Afectadas / Muertas por Inundación													
R	Frecuencia 1 / R	AV 3				AV 6				AV 9			
		Fase 3b: Situación Con Túneles				Fase 3b: Situación Con Túneles				Fase 3b: Situación Con Túneles			
		Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %	Heridos	Herid x %	Muertos	Muertos x %
2	0.5	186	93	0	0	557	279	0	0	752	376	0	0
5	0.2	305	61	0	0	657	131	0	0	927	185	0	0
10	0.1	390	39	0	0	768	77	0	0	1140	114	0	0
25	0.04	496	20	0	0	858	34	0	0	1302	52	0	0
50	0.02	543	11	0	0	958	19	0	0	1480	30	0	0
100	0.01	596	6	0	0	1078	11	0	0	1642	16	0	0
200	0.005	637	3	0	0	1194	6	0	0	1807	9	0	0
500	0.002	720	1	0	0	1365	3	0	0	2050	4	0	0
2de Abril		1360		12		2643		68		4017		109	
PMP		2134		57		4399		204		6580		330	
Totales Anuales Ponderados		234				560				787			

Tabla 5-5. Personas afectadas y muertes esperables para la Fase 3b, según la vulnerabilidad posible del área de estudio.

Para la cantidad de viviendas afectadas se obtuvo:

Viviendas Afectadas									
R	Frecuencia 1 / R	Estimación de Viviendas		Estimación de Viviendas		Estimación de Viviendas		Estimación de Viviendas	
		Fase 1: Situación al año 2013		Fase 2: Situación Actual		Fase 3a: Situación Con Reservorios		Fase 3b: Situación Con Túneles	
		Viviendas	Viviendas x %	Viviendas	Viviendas x %	Viviendas	Viviendas x %	Viviendas	Viviendas x %
2	0.5	2745	1373	1304	652	1294	647	878	439
5	0.2	9437	1887	6689	1338	6695	1339	4457	891
10	0.1	16650	1665	13939	1394	13933	1393	8300	830
25	0.04	29857	1194	27046	1082	26945	1078	18283	731
50	0.02	36793	736	34053	681	33968	679	25689	514
100	0.01	43435	434	40913	409	40804	408	32932	329
200	0.005	48935	245	46623	233	46598	233	39868	199
500	0.002	56438	113	54001	108	53996	108	48445	97
2de Abril		74586		71752		72567		68308	
PMP		105800		104398		104087		101716	
Totales Anuales Ponderados		7647		5897		5885		4031	

Tabla 5-6. Cálculo de la cantidad de viviendas afectadas para cada fase y para cada recurrencia. Ponderación anual de viviendas.

Y los daños para la Fase 1 comparados con la Fase 2, ponderados como daño medio anual esperado o en su valor total es:

Figura 5-8. Curvas de Daños anualizados y Curvas de Daños Ponderados, para la situación al 2013, Fase 1 y para la situación actual Fase 2.

La evaluación económica y financiera se realiza en base a los daños medios anualizados (DMA) ponderados por la probabilidad de ocurrencia de la tormenta que genera cada daño, según el Manual para el diseño de Planes Maestros para la mejora de la Infraestructura y gestión del Drenaje Urbano (Bengoechea, V.; et al, 2003). Los daños medios anuales evitados son los resultantes de la comparación con las fases analizadas.

Figura 5-9. Curvas de Daños anualizados y Curvas de Daños Ponderados, para la situación actual Fase 2 y la situación con reservorios Fase 3a.

También se compara la Fase 3 con la Fase 2, tanto para reservorios como túneles:

Figura 5-10. Curvas de Daños anualizados y Curvas de Daños Ponderados, para la situación actual Fase 2 y la situación con túneles Fase 3b.

CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS MATEMÁTICOS

*Pitágoras, cuando era preguntado sobre
qué era el tiempo, respondía que era el alma
de este mundo.*

*Plutarco (46 – 127) Historiador, biógrafo y
filósofo griego.*

6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS MATEMÁTICOS

6.1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar, los resultados de los modelos matemáticos debieron ser analizados desde los criterios de diseño aplicados y sus áreas de influencia. Y al momento de su ejecución.

Las obras correspondientes a la Etapa 1 solo tienen efecto reconocible dentro del mismo curso del arroyo del Gato y zonas aledañas. En su memoria descriptiva mencionan una recurrencia de diseño de 25 años. Con la misma recurrencia están dimensionados los derivadores.

El viaducto ferroviario tiene una mayor recurrencia de 100 años de diseño, pero condicionada a la remoción completa del terraplén que ocupa la planicie de inundación, hoy ejecutado en forma parcial.

En cuanto a las áreas de retención temporal de los excedentes hídricos propuestas, ARTEH, el diseño consistió en atenuar las crecidas de recurrencia de 100 años y erogarlas como recurrencias de 25 años para el arroyo del Gato y de 50 años para el arroyo Pérez.

Los túneles propuestos son óptimos para recurrencias de hasta 50 años para el túnel que nace en Parque Castelli y queda sobredimensionado para el correspondiente a la zona del Bosque Platense.

Las compuertas han sido analizadas para evitar los daños de hasta 45 cm dentro de viviendas.

6.2 CONCLUSIONES DE LA FASE 1. SITUACIÓN ANTECEDENTE.

La situación antecedente sirve de base de comparación para analizar a la Fase 2.

La peligrosidad de la cuenca ya era conocida y la respuesta de red menor de drenaje estaba limitada a recurrencias de 2 años, según los Informes Hidrológicos – Hidráulicos – Ambientales de la cuenca del arroyo del Gato. (Romanazzi, P.; Urbiztondo, J., 2007).

Sin embargo, la peligrosidad de la cuenca, el agua en calles y sus velocidades, y, en consecuencia, la severidad propia de la cuenca no se había analizado. Este es el primer trabajo que tiene en cuenta la aplicación de normas como las correspondientes a la comunidad europea u otras.

Y la calificación y cuantificación del riesgo fue relevada en campo por la sociedad, principalmente la población afectada, en tormentas como las del 27 de enero de 2002, la de los días 28 y 29 de febrero de 2008, o la correspondiente a los días 2 y 3 de abril de 2013.

6.3 CONCLUSIONES DE LA FASE 2. SITUACIÓN ACTUAL.

Esta fase permite concluir sobre muchos aspectos que se discutirán en forma más específica:

1. Cambios hidráulicos e hidrodinámicos en su implementación.
2. Mejoras esperadas en la cuenca en general.
3. Relaciones costo-beneficio.

Análisis:

1. Todas las obras realizadas pretendieron mejorar el saneamiento general de la cuenca, desde lo superficial. Sacar el agua de las calles que entorpece al normal funcionamiento de la ciudad y mejorar el drenaje del cuerpo receptor. Sacar el agua en forma más rápida.

Desde que el agua cae, moja, escurre por lotes y viviendas, llega a las calles y se introduce en de la red menor de drenaje; pasa, en su escurrimiento y según la magnitud de la tormenta, desde un anegamiento local hasta uno de gran dimensión, que puede implicar hasta la evacuación total de habitantes de una determinada subcuenca. Y no necesariamente se debe a la capacidad de sumideros o bocas de tormenta. Con una distancia suficiente de espaciamiento entre bocas de tormenta se pudo apreciar el problema de los anegamientos.

En muchos países, en particular en zonas industriales o donde el factor de ocupación del suelo de la parcela es importante y se cuenta con red de drenaje pluvial para evitar el escurrimiento por calles, se propone que los pluviales domiciliarios se incorporen directamente a la red pluvial, como es actualmente el caso de las redes de aguas negras.

Hay técnicas de diseño de sistemas urbanos de drenaje sustentable (SUDS) que proponen la retención domiciliaria para evitar la colmatación de los conductos a causa de la creciente impermeabilización del suelo. Buscan compensar la impermeabilización con retención de un volumen equivalente a la diferencia entre los hidrogramas actuales y anteriores generados en cada lote o parcela. Son dimensionados para bajas recurrencias de 1,1 a 2 años.

2. Las mejoras esperadas no son observables dado que no se han ejecutado obras para la cuenca en sí misma; solo fue atendido el receptor de las aguas pluviales dentro del casco urbano, arroyo del Gato, arroyo del Zoológico y arroyo Maldonado. Los conductos derivadores solo pretenden impedir el ingreso de aguas a la red de conductos existentes al año 2013, en particular

la red de calle 25 y calle 30. Se puede decir que estas obras son necesarias, pero no suficientes.

La cuenca que recibe la precipitación funciona como antes. En las inmediaciones de los arroyos receptores se ven cambios, pero menores: solo los conductos derivadores construidos mejoran las condiciones de su entorno superficial cercano o próximo. Hace falta la Etapa 2 de obras, complementaria de la Etapa 1, u otras obras, de manera que con capacidad mejorada en los receptores se puedan evacuar los excedentes hídricos superficiales de la cuenca.

El párrafo anterior pretende introducir a los lectores el concepto que el problema no está solucionado con las obras ejecutadas; se requiere de otras obras si lo que se busca es tener una cuenca sin anegamientos para un amplio rango de tormentas y probabilidades asociadas. O pensar en aplicar medidas de contingencia para la situación actual de la cuenca. Esta es la cuenca con la que tenemos que interactuar.

Si se analizan en particular los cambios en el funcionamiento de la red mayor de drenaje se pudo observar que han disminuido los volúmenes de agua con mayor incidencia en las proximidades de las obras ejecutadas, aunque no los picos máximos de alturas de agua en calles. Esto se refleja en los mapas de profundidades de agua, para eventos de la misma recurrencia, comparados entre Fases 1 y 2, donde no se perciben cambios evidentes, dado que es un mapa que refleja a los máximos de agua alcanzados.

Estos resultados tienen gran significancia pues los anegamientos se producen por el agua que precipita en cada una de las subcuencas; las aguas derivadas desde aguas arriba solo aportan, en algunos casos, mayor volumen de agua en calles, pero no hacen al pico del anegamiento, salvo los casos próximos al ahora canal del Gato. La peligrosidad de la cuenca, por esta razón, se mantiene.

Si se analiza la red menor de drenaje, las situaciones de cambio hidrodinámico derivadas de las obras ejecutadas no tienen peso, solo en el entorno de la descarga, donde cambian los niveles de descarga y son los que condicionan el escurrimiento de los conductos. Pero los conductos trabajan, en general, a presión por el agua que escurre por ellos y no por las condiciones de descarga. En particular el conducto de calle 11 tiene una capacidad de drenaje importante pero muy limitada, para un amplio rango de tormentas, por su cuenca de aporte. Solo el conducto de calle 30 ha mejorado su situación previa a causa de la disminución, importante, de su cuenca de aporte causada por la construcción de los derivadores ubicados aguas arriba del mismo.

Los resultados son esperables dado que los excedentes hídricos quedan en superficie y/o escurren sobre esta, y las obras realizadas al momento no los evacúan. Pueden cambiar los tiempos de peligrosidad o de presencia de agua en calles, pero solo en las zonas de influencia de estas obras.

3. La justificación económica de estas obras debe poder ser evaluada a través de los daños medios evitados por su implementación.

Si se relacionan la situación precedente, Fase 1, con la situación actual, Fase 2 y por diferencia de áreas de daños medios, se determina el “daño medio anual evitado”, con un análisis económico financiero se puede determinar la relación beneficio–costo y la Tasa Interna de Retorno TIR.

Figura 6-1. Relación costo- Beneficio para las obras ejecutadas y daños evitados para períodos de amortización de 20 y 50 años.

Los daños medios anuales evitados DMAEv sumaron, para el rango de precipitaciones desde recurrencias 1,1 a 500 años, U\$D 7,00 x 10⁶. Los costos licitados equivalieron, según cotización media del dólar, a U\$D 237 x 10⁶. Para amortizaciones de 20 y de 50 años, las relaciones costo- beneficio arrojaron como resultado una TIR de 1,55%, por lo cual las obras ejecutadas no resultarían rentables o no tendrían, al menos, justificativo económico.

Se requerirá de otra etapa para entender si, en conjunto, las obras se justificarían económicamente. Vale aclarar nuevamente que solo se consideran daños materiales.

6.4 CONCLUSIONES DE LA FASE 3. IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES

Las medidas estructurales, por las diferencias observadas en sus resultados, merecen conclusiones individuales.

6.4.1 RESULTADOS PARA FASE 3a, SITUACIÓN CON RESERVORIOS

Esta fase permite concluir sobre muchos aspectos que se discutirán en forma más específica:

1. Cambios hidráulicos e hidrodinámicos en su implementación
2. Mejoras esperadas en la cuenca en general.
3. Relaciones costo-beneficio

Análisis:

1. Todas las obras de las ARTEH propuestas pretendieron atenuar y/o laminar las crecidas. Las bondades obtenidas en la atenuación tanto para el cauce del arroyo del Gato (pasa de una recurrencia 100 años a otra de 25), como la atenuación en el arroyo Pérez (pasa de una recurrencia 100 años a otra de 50) no se traduce en cambios significativos en el escurrimiento general de toda la cuenca.

Esto tiene dos interpretaciones relevantes: por un lado, el volumen laminado no es significativo dentro de los volúmenes de agua precipitados en toda la cuenca; y por el otro, la peligrosidad en el casco urbano, en particular sus máximos, está asociada al agua que cae sobre la propia cuenca y no al agua derivada desde las subcuencas altas, como se ha mencionado en el punto anterior.

La primera de las interpretaciones puede observarse porque los cambios en el escurrimiento general tanto del cauce principal del arroyo del Gato como en los conductos derivadores no es relevante y solo se observaron cambios menores, en forma superficial, en las calles muy próximas a la canalización del arroyo del Gato.

La segunda de las interpretaciones puede observarse porque los mapas de altura de agua en calles y de severidad, para cualquier recurrencia son (casi) iguales.

2. Las mejoras esperadas no son observables y la eficiencia debería actuar sobre los excedentes hídricos superficiales. Pero estos excedentes que ingresarían al casco urbano hoy quedan captados por el conducto derivador de las calles 143 / 139, por un lado, o sobre el mismo cauce del arroyo del Gato.

Los caudales y los volúmenes que escurren por la canalización del arroyo del Gato muestran cambios en el funcionamiento hidráulico, como era de esperar, dado que los volúmenes se distribuyen en el tiempo. Pero no hay mejoras en el escurrimiento del conducto troncal de calle 11, dado que el problema es propio a su diseño en relación al tamaño de su cuenca de aporte, y el conducto de calle 25 tiene un leve cambio que no se traduce en la red mayor de drenaje.

3. La justificación económica de estas obras debe poder ser evaluada a través de los daños medios evitados por su implementación.

Si se relacionan la Fase 2 con la Fase 3a se puede calcular, por diferencia de áreas de daños medios anuales esperables al DMAEv “daño medio anual evitado”.

Pero al no haber realizado un proyecto ejecutivo de las 3 ARTEH analizadas, aunque sí fueron dimensionadas cada una de sus obras, la propuesta de análisis fue inversa: se determinó cuál debería ser el costo máximo de las obras (incluida la

expropiación de terrenos) de manera tal que se obtengan tasas internas de retorno que las justifiquen.

Los daños medios anuales evitados DMAEv sumaron, para el rango de precipitaciones desde recurrencias 1,1 a 500 años, U\$D 19,5 x 10³. Los costos máximos a disponer no podrían superar los 330 x 10³ U\$D para disponer de una TIR del 5%. Estos valores superan al costo de los terrenos.

Figura 6-2. Relación costo- beneficio, situación Fase 2 y Fase 3a con reservorios, para un período de amortización de las obras de 50 años y 20 años. Para obtener una TIR del 5% es necesario que los costos no superen los U\$D 300.000

Queda claro que esta medida estructural no resulta apropiada para disminuir la severidad de la cuenca ni los daños generados por anegamientos en la red mayor de drenaje.

No es el agua derivada de las cuencas altas la que genera los daños contemplados en las normativas europeas.

Figura 6-3. Profundidades alcanzadas por el agua. Situación actual Fase 2. Recurrencia 25 años.

Figura 6-4. Profundidades alcanzadas por el agua. Situación con reservorios Fase 3a.
Recurrencia 25 años.

Figura 6-5. Severidades en la cuenca. Situación actual Fase 2. Recurrencia 25 años.

Figura 6-6. Severidades en la cuenca. Situación con reservorios Fase 3a. Recurrencia 25 años.

6.4.2 RESULTADOS PARA FASE 3b, SITUACIÓN CON TÚNELES

Esta fase permite concluir sobre muchos aspectos que se discutirán en forma más específica:

1. Cambios hidráulicos e hidrodinámicos en su implementación
2. Mejoras esperadas en la cuenca en general.
3. Relaciones costo-beneficio

Análisis:

1. Los túneles propuestos tuvieron como objetivo permitir el desagüe de los conductos troncales y derivar las aguas a través de estos, pero con la premisa de reducir la severidad de la cuenca. Se consideró, como condición inicial, que los conductos (túneles) se llenen antes que comience el escurrimiento a través de ellos, de modo que no funcionen como cisternas. Se adoptaron diámetros de 6,90 m a semejanza de los túneles construidos en el arroyo Maldonado de CABA.

Esta medida estructural ha manifestado cambios sustanciales dado que retira agua de la cuenca. Saca los excedentes hídricos superficiales en forma indirecta: le da capacidad a los conductos troncales para que estos puedan captar eficientemente el agua superficial a través de los sumideros o bocas de tormenta existentes.

La mayor bondad se observó en la reducción de los volúmenes de agua en calles, y al desaguar aguas abajo del puente ferroviario, deriva las aguas permitiendo que el resto de los conductos troncales trabajen de manera más eficiente al reducir los volúmenes de aporte tanto en calles como en la canalización del arroyo del Gato, en su tramo urbano.

2. Las mejoras esperadas se han cumplido y son claras, se sacó el agua de las calles: aquellas que tenían peligro asociado.

En los mapas de profundidades y severidades los cambios son claros. Tampoco sorprenden. Los túneles tienen la ventaja que van contra el peligro intrínseco propio no solo de la red mayor de drenaje sino de toda la geomorfología propia de la cuenca. El peligro asociado residual se debe a la red menor existente que tiene falencias en algunos sectores.

En los mapas de las figuras 6-8 a 6-11, se pueden observar las diferencias entre la Fase 2 con respecto a la Fase 3, para las recurrencias de 50 años, tanto en tirantes de agua en calles como en la severidad asociada.

3. La justificación económica de estas obras debe poder ser evaluada a través de los daños medios evitados por su implementación.

Si se relacionan la Fase 2, con la Fase 3b se puede analizar, por diferencia de áreas de daños medios anuales esperables al “daño medio anual evitado” DMAEv, tal como se indica en los gráficos de la Figura 6-7.

Figura 6-7. Relación costo-beneficio para las obras ejecutadas y daños evitados con túneles para períodos de amortización de 20 y 50 años.

Para un costo mínimo de obras del orden de los 250×10^6 U\$D, por 12,5 Km de túneles, la suma de daños medios anuales evitados ascendería a $4,43 \times 10^6$ U\$D. No es posible justificar las obras económicamente sin justipreciar a las personas. Matemáticamente las dos soluciones posibles serían o disminuir costos o aumentar daños. La primera de las soluciones es inviable, salvo que se proyecten túneles de diámetros menores; la segunda solución requerirá aumentar la vulnerabilidad y exposición de bienes de manera tal que vaya contra los principios lógicos de un ordenamiento territorial y uso del suelo “razonable”. Si se cuantificaran indemnizaciones a los afectados por no tener obras dimensionadas para todo el rango de recurrencias, valoraciones de inmuebles contemplando la seguridad en las obras proyectadas, y otro tipo de beneficios (daños evitados), quizás las relaciones costo-beneficio sean cercanas a 1.

Para el caso de la Fase 3 b, se agregan los mapas de profundidades y severidades para la recurrencia de 50 años, junto a los correspondientes a la Fase 2 para su visualización, figuras 6-8 a 6-11.

Figura 6-8. Mapa de profundidades, Situación actual, Fase 2 para la recurrencia de 50 años.

Figura 6-9. Mapa de profundidades, situación con túneles, Fase 3b para la recurrencia de 50 años.

Figura 6-10. Mapa de Severidades, Situación actual, Fase 2 para la recurrencia de 50 años.

Figura 6-11. Mapa de Severidades, situación con túneles, Fase 3b para la recurrencia de 50 años.

6.4.3 RESULTADOS PARA FASE 2 CON IMPLEMENTACIÓN DE COMPUERTAS

Esta alternativa implica realizar obras, pero consideradas dentro de las medidas no estructurales, y permite disminuir los daños sin modificar el contexto exterior a las viviendas: se mantienen las condiciones actuales y se protegen las viviendas o, en caso de demoliciones y reconstrucciones, ejecutarlas a futuro con niveles de piso superiores y por encima de la cota de anegamiento de la zona. Se analizan los:

1. Cambios hidráulicos e hidrodinámicos en su implementación y mejoras esperadas en la cuenca en general.
2. Relaciones costo-beneficio.

Análisis:

1. Colocar compuertas no altera al escurrimiento general de la cuenca, solo evita daños hasta la altura de su proyecto, estimada en 45 cm (85 cm medidos desde el cordón cuneta).

La cantidad de viviendas afectadas ascendería a 54.001 viviendas para la recurrencia de 500 años. Un número de viviendas afectadas en una muy baja probabilidad y que sólo un porcentaje bajo de ellas se puede inundar asiduamente.

2. Para justificar las obras, analizamos los daños remanentes y solo se restan los daños en viviendas hasta la altura establecida de 45 cm.

En este caso, los daños medios anuales descienden para la cantidad de viviendas afectadas, en 55×10^6 USD.

Figura 6-12. Relación costo-beneficio con variante de la Fase 2, con compuertas. Inversión justificable para obtener una TIR 10%.

Los 55×10^6 U\$D para las 54.001 viviendas representan una inversión del orden de los 1.000 U\$D por vivienda, para obtener una TIR del 10 %.

6.5 CONCLUSIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES

La implementación de las medidas estructurales, sean los sistemas de drenaje urbano sustentables, los reservorios y/o los túneles, más la aplicación de las compuertas, deben ser analizados desde sus recurrencias de diseño, dado que algunos tienen consecuencias muy probables y otros no.

En base a los resultados, los reservorios no parecen tener sustento técnico ni económico, salvo que se los integre a los sistemas de drenaje urbano sustentable (SUDS), que tienen aplicación sobre tormentas de bajas recurrencias (hasta 5 años), buscando complementar a la red de drenaje local y la posibilidad de integrarla al paisaje urbano. En el drenaje general de la cuenca, aplicable a todo el rango de tormentas probables, su incidencia es menor.

Hay subcuencas dentro del partido de La Plata que aún requieren de obras de infraestructura con el fin de sacar el peligro de calles, especialmente aquellas vinculadas con severidades inaceptables en tormentas de alta probabilidad de ocurrencia, sumados los efectos críticos de la presencia del mobiliario urbano.

Si las medidas no estructurales no logran evitar el aumento de los daños medios anuales esperables a futuro en virtud del crecimiento demográfico y no se conciba a la ciudad como inmersa en una cuenca hídrica, serán necesarias obras cada vez mayores.

Y los túneles, por su forma de ejecución, parecen ser una de las medidas óptimas para retirar el agua de la propia cuenca, sin grandes intervenciones urbanas que impliquen rotura de calles o enmiendas en la actual red de drenaje.

Finalmente, las obras se hacen para el bienestar de las personas. Errores en el ordenamiento territorial y el razonado uso del suelo implican dar vulnerabilidad a los habitantes. La corrección de estos errores conduce a adoptar medidas del tipo estructural y no estructural.

Invertir en alertas y participación ciudadana es la medida más eficiente para reducir la exposición de personas a accidentes y muertes por causas de inundación pluvial.

Quizás el diseño de las medidas estructurales deba enfocarse en quitar el peligro a la cuenca donde se exponen a personas y bienes, en base al riesgo inherente a la cuenca. Todas las obras proyectadas, como conducciones y sumideros, solo son utilizadas durante los eventos pluviales por lo cual son inversiones costosas de bajo uso frente a otros tipos de saneamiento en cuencas, como agua potable y cloacas, donde las medidas estructurales tienen un uso permanente.

CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES SOBRE LA GESTIÓN DEL RIESGO

*Cambia todo en un instante,
un corto y breve instante,
fracciones de minuto.
Te sientas a cenar,
el día parecía uno normal.*

*No se necesitan años,
un mes es mucho tiempo.
Solo un breve momento,
un momento fugaz,
un soplo, de repente cambia ya.*

*Conjunto Musical Single: Teresa Iturrioz
(2007)*

7 CONCLUSIONES SOBRE LA GESTION DEL RIESGO

7.1 INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo implica no solo conocer el riesgo inherente a la cuenca sino calificarlo y cuantificarlo, y adoptar las medidas para minimizar los daños en caso de producirse las amenazas que lo determinan. Se realizan, para su gestión, Planes de Contingencia, o se dispone de reservas para gestionar los riesgos no conocidos.

7.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Gran parte de la gestión del riesgo nace en la adopción de medidas no estructurales, algunas de las cuales se han mencionado en este trabajo.

Constituyen las medidas más económicas, reduciendo los costos de los planes de contingencias.

Los daños económicos ponderados de los resultados derivados de los cálculos por severidad, profundidad del agua y velocidad no han contemplado a las personas afectadas. Asignarles un monto económico debiera ser compatible con eventuales indemnizaciones, en caso de corresponder, para justipreciar a las personas, si tal cosa fuera posible. Por lo tanto, la mejor medida a adoptar tiene foco en la reducción en la exposición de las personas y en su vulnerabilidad.

Continuando con las normas europeas, la reducción de la vulnerabilidad apuntó a las alertas, en particular a las alertas tempranas, al tiempo de crecidas y concentración de la cuenca; y a las edificaciones en las áreas inundables.

7.2.1 ALERTAS, PREDICCIONES Y COMUNICACIONES

Las predicciones de inundaciones, basada en la predicción meteorológica (dependiendo de la red de estaciones implementadas), y en definitiva determinar el tipo de crecidas (forma y tiempo al pico), son medidas tendientes a disminuir la vulnerabilidad del área.

Hoy el municipio de La Plata cuenta con una red de 6 estaciones meteorológicas y 10 estaciones hidrométricas en todo el partido. Los tiempos de crecida, para las lluvias estudiadas, permitió identificar tiempos al pico referidos a la diferencia horaria entre el tiempo al pico de la crecida y el tiempo al pico del hietograma, de 1:30 h para la cuenca completa del arroyo del Gato y de 0:50 h para los conductos principales. Limita y condiciona fuertemente al tiempo de respuesta a las contingencias.

El cálculo del tiempo de concentración implica estimar las velocidades del agua sobre la superficie urbana y a través de los conductos, por lo cual las urbanizaciones

aceleran las velocidades y acortan los tiempos al pico de los hidrogramas. Se ha confirmado lo enunciado por los efectos de la urbanización (Tucci, 2006).

Un aspecto crítico en la gestión de riesgos lo tiene la comunicación. La comunicación se puede analizar desde dos aspectos: ¿qué se comunica?, y ¿cómo se comunica? Las respuestas a estas preguntas se focalizan en los sistemas de alerta y requiere que la población, ante diversos grados de alerta, las reciba y sepa cómo actuar. Implica preparar a la población sobre cómo proceder ante una serie de eventos críticos asociados a diferentes grados de alerta. Los medios de comunicación deben ser eficientes y deben ser probados. En este sentido, el Plan de Reducción del Riesgo por Inundaciones en la región de La Plata (PRRI), convenio firmado entre la Municipalidad de La Plata y la Facultad de Ingeniería (Romanazzi P. et al, 2019), tiene a este tema como propósito de trabajo. Se requiere de un entrenamiento de la población y de la disposición de equipos de logística que apoyen los procedimientos de operación en campo, no solo dando garantías de un trabajo coordinado con menor riesgo de fracaso, sino que además permitan disminuir el riesgo general de personas accidentadas, heridas o fallecidas.

La existencia de los sistemas de alerta y el preaviso, y la capacitación o información a la población que pueda ser afectada, es una premisa de disminución fehaciente del riesgo. Si bien los tiempos de concentración de las crecidas derivadas de las tormentas intensas son bajos, la meta u objetivo consistirá en adelantarse a los tiempos de avenida de las crecidas basados en una eficiente red de estaciones y radares, hasta poder adelantarse a la cantidad de agua precipitable (antes que se produzca la tormenta) en base a estudios y mediciones de imágenes del radar, lo que ayudaría a que los riesgos propios inherentes a la cuenca puedan ser gestionados en forma temprana, pudiendo de esta manera disminuir el riesgo.

O por otro lado acortar la distancia (el tiempo) de asistencia desde lugares cercanos a las zonas críticas.

En este sentido, el Estudio y Plan de Gestión del Riesgo de Inundación para la ciudad de Newcastle, Australia (Haines, 2012), propuso como etapa inicial, la información en campo a todos los interesados e involucrados en el tema, asignando un presupuesto a tal fin. Y un plazo de tiempo para esta información.

7.2.2 CONSTRUCCIONES Y ESTRUCTURAS

Tener una ciudad resiliente, al menos adoptar medidas en las viviendas y edificaciones, como son las construcciones sobre niveles elevados, espacios libres a nivel del suelo, compuertas, etc., permitiría considerar, dentro de la metodología europea, la posibilidad de disminuir esta vulnerabilidad a valores mínimos, cercanos a AV 3.

La resiliencia es la capacidad que tiene un sistema, comunidad o sociedad, expuestos a una amenaza, para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos, de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas, a través de la gestión de riesgos.

Dentro de las estrategias está la preparación y respuesta, ante las crisis generadas, (Organización de Estados Iberoamericanos, 2018).

Las respuestas a los daños derivados por inundaciones, en general, es deficiente, especialmente en reconstrucción de viviendas, reposición de bienes muebles, etc. Los seguros e indemnizaciones debieran aparecer, en primera medida, como esquemas posibles de acelerar la recuperación de todas las afectaciones resultantes. Se debieran estudiar primas de seguros que permitan disponer de recursos económicos para atender las urgencias.

Es necesario aplicar el conocimiento hidráulico y evaluar el riesgo hídrico, a través de modelos, para redefinir el ordenamiento urbano y uso del suelo en todas y cada una de las cuencas urbanas. Se debe complementar la zonificación existente con su riesgo hídrico. De esta forma se podrían modificar usos permitidos, niveles de construcción, la posibilidad o no de cocheras bajo el nivel de calle, etc.; y se puedan definir códigos de construcción apropiados a la ubicación de los lotes en el territorio.

Las justificaciones económico-financieras, vinculadas a una tasa interna de retorno o a una relación costo-beneficio, pueden ser parciales al no considerar ni cuantificar a las personas que pudieran ser afectadas, accidentadas y/o fallecidas ni a la disminución en los costos en los planes de contingencia. Para alcanzar este punto se requiere de una infraestructura mínima en la cuenca que pueda garantizar la asistencia aún en condiciones adversas, como los ingresos y egresos de la ciudad, la comunicación a los centros de asistencia como son los hospitales y en caso contrario, y hasta tanto se logre esto, implementar Centros Vecinales de asistencia en caso de emergencias: lugares seguros de atención – espera – evacuación.

La cuenca tiene la identidad del territorio por lo que debe ser incluida dentro de todo proyecto llevado adelante por el municipio o provincia; quizás las soluciones no pasen por evitar que viva gente en dichas zonas, sino que lo hagan de forma segura con la posibilidad que la naturaleza no vea alterada su esencia, sin perturbar el normal paso de las crecidas ni incrementar el riesgo del entorno, con construcciones elevadas y, sobre todo, conociendo los riesgos asociados a la cuenca.

Los métodos constructivos, tipologías básicas, alturas, carpinterías, debieran ser especificados para zonas inundables; debieran ser incluidas en los Códigos para la sustentabilidad edilicia.

Finalmente, toda la Gestión de Riesgos se debe planificar para la situación actual, considerando que las obras faltantes pueden demorarse más de lo previsto; se debe trabajar sobre la realidad actual y no sobre la potencial. Si se ejecutan obras, el dinamismo propio llevará a reevaluar el riesgo en general.

Es prioritaria la implementación de medidas no estructurales. En este sentido, la primera de las medidas no estructurales a considerar se refiere a la resiliencia de las obras o, en forma indirecta, a la ejecución de compuertas para todas las viviendas afectables por el ingreso de agua.

Figura 7-1. Imágenes de viviendas resilientes en zonas inundables, variables en altura.

Figura 7-2. Ejemplo de compuertas instaladas en edificios, residencias y comercios para evitar el ingreso de agua de inundación.

7.2.2.1 ESTUDIO DE RECONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN ZONAS INUNDABLES POR ENCIMA DEL NIVEL DE REGISTRO DE LAS MODELACIONES: COTA +0.45 m

Con el propósito de eliminar, al menos en gran parte, los daños económicos derivados del ingreso de agua a las viviendas, gastos generalmente solventados por los propietarios, se propuso y presentó la ventaja económica de este tipo de medidas para evitar el ingreso de agua.

Lo indicado corresponde a que los niveles de piso superen a las cotas posibles de inundación y/o el uso de compuertas. Las viviendas se encuentran ejecutadas, con lo cual, elevar su nivel de piso implica disminuir la altura de los locales de planta baja o su demolición.

Por lo tanto, la medida analizada consistió en considerar que se financie la colocación compuertas en cada una del total de viviendas que pudieran llegar a ser afectadas por inundación, dentro de los límites del estudio realizado, en todos sus accesos: puerta principal, puerta posterior y de existir, en el garaje. Para la recurrencia de 500 años, la cantidad de viviendas afectadas entre 45 cm y 50 cm en su interior alcanza, en las modelaciones realizadas, un total de 54.001 viviendas. La gran mayoría de estas viviendas tienen muy baja probabilidad de afectación. Pero la propuesta respondió a un análisis beneficio – costo sobre obras y daños medios anuales evitados. Si se calculan las viviendas ponderadas por su probabilidad de inundación, y analizado anualmente, alcanzaría con dotar de compuertas al 10%, aproximadamente, del total de viviendas contabilizadas, que serían las susceptibles de inundarse con mayor probabilidad anual.

Con esta medida se brinda un grado de protección hasta la altura de las compuertas. Y sería esperable que, con el paso del tiempo, las viviendas que se demuelan y se reconstruyan, o las nuevas construcciones, se ajusten a la realidad de cada lote más que una simple consideración de zonas de arroyos y bañados.

En el Proyecto de Investigación Orientado, PIO, UNLP-CONICET, sobre las Inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada, (Ronco, A.; López, I., 2016), en su capítulo 3, se plantean los lineamientos en el ordenamiento territorial y zonas de vulnerabilidad y riesgo para La Plata (López & Etulain, 2017). Se presentaron mapas en zonas críticas tanto en cuenca alta, como la cuenca media.

7.2.3 RESILIENCIA URBANA

En la actualidad, la resiliencia urbana ofrece un marco estratégico ligado a una evaluación de riesgo, así como una serie de herramientas con las que afrontar los complejos desafíos económicos, sociales y ambientales a los que se enfrenta la ciudad. Hay que realizar esfuerzos para incrementar la resiliencia que deben complementar a los esfuerzos de mitigación y contingencia, especialmente para que estos últimos no sean únicos.

La adaptabilidad de la ciudad debe quedar incorporada al proceso de Planificación Urbana, según el libro “De ciudades emergentes a ciudades sostenibles” (Terraza, Rubio Blanco, & Vera, 2016), y se debe avanzar sobre tres grandes áreas:

1. *Diagnóstico participativo*, para identificar las vulnerabilidades a nivel local y avanzar sobre la planificación urbana resiliente. Con la documentación de las experiencias pasadas.
2. Enfoque multisectorial con infraestructura sostenible, infraestructura verde, con un desarrollo bajo en emisiones y soluciones basadas en respuestas naturales. Como ejemplo puede basarse en un sistema de transporte eficiente que permita trabajar sobre la disminución de la mancha urbana.

3. Acceso al financiamiento, orientado a la resiliencia urbana, para infraestructura y edificios verdes, donde el Banco Interamericano de Desarrollo tiene líneas de crédito en este sentido.

Estamos en oportunidad de aprender del pasado y planificar la ciudad para el futuro, bajo los conceptos de la resiliencia urbana, de manera de tener una ciudad menos vulnerable y más segura.

7.3 SEGUROS E INDEMNIZACIONES

La gran ventaja que resulta de la implementación de estas medidas es la capacidad de recuperarse, al menos económicamente, de las consecuencias de una inundación.

El mayor conocimiento que se tiene sobre el tema de seguros está referido a los vehículos y en menor medida a las viviendas. Disponer de manera temprana de dinero para rehacer, recomponer y remediar situaciones derivadas de inundaciones son viables para mejorar la resiliencia.

La Nación, la Provincia y/o el municipio debieran considerar la probabilidad de contratar una prima de seguro por inundaciones, hasta que se ejecuten obras, para solventar créditos de reconstrucción.

El análisis realizado en los vehículos, considerando el parque automotor al año 2013, supone que, para un día de semana cualquiera, de un mes cualquiera, las obras aportarían una disminución del riesgo derivado de una disminución en las severidades de la cuenca. La implementación de medidas, como son las compuertas, no garantizan a los vehículos en calles o circulando, con lo cual la estimación del riesgo puede no ser cuantificable. Sin embargo, las alertas tempranas permitirían el traslado de los vehículos a estacionamientos en zonas de resguardo.

7.4 CONCLUSIONES SOBRE LA GESTION DEL RIESGO Y MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Las medidas no estructurales son las que mejor pueden reflejar los cambios en la disminución del riesgo de las cuencas urbanas, basadas en la legislación (que debiera modificarse para el Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo), la implementación de las alertas tempranas, anticipándose a los probables riesgos por inundación derivados de la información meteorológica precedente, y la implementación sobre el terreno de medidas de prevención y precaución. La comunicación eficiente a la población redundaría en menor cantidad de víctimas y heridos.

La resiliencia, disponer de plantas elevadas o trampas en techo, liberación de vías de evacuación y, en definitiva, el conocimiento de qué hacer y cómo, en situaciones críticas, ayudará más que las obras que se puedan implementar a futuro. Responden al ahora, y son de características prioritarias por los beneficios que se alcanzarían.

Figura 7-3. Mapa de profundidades en calles > 60 cm para varias recurrencias. Situación actual. Fase 2 y sectores de estudio.

7.5 APLICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN BASES PARA LOS PLANES DE CONTINGENCIA

En base a los conocimientos adquiridos y como base preliminar de aplicación en la cuenca urbana, se eligen 5 sectores o zonas, indicados en la Figuras 7-3, con características particulares partiendo de la Fase 2, situación actual, en la cual la exposición de personas y viviendas permanecerá invariable al momento de este trabajo, cambiando solo según el crecimiento demográfico y habitacional.

Las consideraciones realizadas en base a los diferentes escenarios derivados de las tormentas, en volumen y en intensidad, los problemas asociados al tránsito y a la cantidad de personas que puedan ser afectadas se describen a continuación en un formato de fichas.

El primer mapa generado se determinó en base a la altura de agua en calles, de valor 60 cm. Esta altura es suficiente para que vehículos medianos puedan entrar en flotación. Considerando que solo circulen para fines de asistencia vehículos de diversos tamaños, conforme sean las características de las tormentas (por intensidad o por volumen de agua precipitado), se muestran las calles que puedan tener inconvenientes a la circulación. Los sectores para estudio del riesgo propuestos fueron definidos según las planicies de inundación de los arroyos urbanos. Asimismo, en el mismo mapa, se identifican Hospitales y Centros posibles de atención.

7.6 FICHAS DISCRIMINADAS POR SECTORES DE LA CUENCA

Se presentan las fichas de los cinco sectores según los indicados en la Figura 7-3.

En estas fichas se brinda información, por cada sector propuesto, para personas y para encargados de gestionar las contingencias, de los volúmenes de agua esperables y de los riesgos estudiados; para estar atentos a los niveles de agua en calles y viviendas y se brindan recomendaciones a los habitantes de cada sector en cuanto a los riesgos presentes, tanto en calles como en viviendas.

Se delimitan los sectores más críticos y los lugares seguros. En base al censo 2010 se informa de la máxima cantidad de gente que pueda requerir asistencia según las precipitaciones que ocurran en la región, y los centros asistenciales próximos.

Medidas a adoptar en ciertas viviendas, según sea su construcción y altura.

Se indican las calles que serán anegadas. Y algunos requisitos mínimos de equipos a disponer.

SECTOR 1

ASISTENCIA A:

VIVIENDAS

VÍA PÚBLICA

CENTROS

LUGARES SEGUROS

y/o

de

OBSERVANCIA

Mapa: **Ficha Profundidades en Viviendas**
Situación Actual - Sector 1

Referencia

Vías Principales - La Plata

Dominio de Modelación

Calles con Profundidades Mayores a 60 cm

- Recurrencia 10 años
- Recurrencia 25 años
- Recurrencia 100 años
- Recurrencia 500 años
- Evento PMP

Infraestructura Crítica

- Municipalidad de La Plata
- Gobierno del la Prov. de Buenos Aires
- Subsecretaría de Atención del Riesgo
- Hospital
- Centro Educativo
- Centro Deportivo
- Teatro/Museo/Cine
- Centro Comunitario

eco

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galindez

Mapa: **Ficha Profundidades en Calles**
Situación Actual - Sector 1

Mapa: 12

Hoja: 01/05

FICHAS DE CÓMO INFORMAR Y PROCEDER: SECTOR 1

Vecinos que se encuentran en las viviendas:

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

CONSULTAR

- Gráfico SECTOR 1 Profundidad en calles
- Gráfico SECTOR 1 Profundidad en viviendas

Si la vivienda es vulnerable: analizar para qué valores de precipitación. Ver Gráfico Viviendas.

- ✓ Juntar agua segura.
- ✓ Tener disponible un kit de emergencias.
- ✓ Investigar y ubicar las rutas de evacuación, en caso de ser necesario, o dirigirse a lugares SEGUROS (dentro o fuera de la vivienda). Tener establecidos puntos de reunión familiar.
- ✓ Cortar el gas y la electricidad. Disponer de cargadores para telefonía. Tener radio a baterías. Tener linternas con pilas.
- ✓ Disponer de alimentos en caso de no evacuarse. Disponer de ropa seca. Guardar documentos en bolsas plásticas.
- ✓ Conocer el Riesgo dentro de la Vivienda.

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión VALORES EXTREMOS)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	38.52	49.70	57.05	66.29	73.11	79.84	86.52	95.29	201.11	267.2
6	44.70	57.76	66.37	77.22	85.25	93.19	101.08	111.46	279.52	327.4
12	51.65	66.80	76.81	89.43	98.78	108.05	117.26	117.26	388.51	370.4
24	59.53	77.03	88.61	103.22	114.05	124.78	135.47	149.56	540.00	392.2

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión CABA)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	52.75	70.01	82.59	94.45	112.06	124.45	129.5	144.88	201.11	267.2
6	64.25	84.01	100.12	117.19	135.94	150.17	157.73	176.46	279.52	327.4
12	77.73	99.85	120.42	144.60	163.58	179.60	190.84	213.49	388.51	370.4
24	93.73	118.10	144.28	177.92	196.02	213.83	230.11	257.43	540.00	392.2

SECTOR 1

VIVIENDAS

LLUVIA	RECURRENCIA					
	10	25	100	500	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	83	94	124	145	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	100	115	150	176	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	120	139	180	213	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	28.9	33.7	40.7	48.8	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	33.3	38.8	46.9	56.3	25.8	95.8

2.- ESTAR ATENTO A LA PRECIPITACIÓN:

Intentar analizar la cantidad de agua caída + la intensidad.
Estar atento a la información oficial.

Día: Comunicarse con familiares, vecinos o conocidos.
Observar los niveles de agua en calle. Seguir la evolución de la inundación, si esta ocurre.

Noche: Disponer de lugares **SEGUROS** dentro de la vivienda, trasladarse a Planta Alta.

Vecinos que se encuentran en las viviendas:
Cómo actuar durante el día y durante la noche.

3.- SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA DE RESIDENCIA:

Casas en PLANTA BAJA: Colocar **COMPUERTAS**.

Investigar / conocer el nivel máximo de agua esperable dentro de la vivienda. Situación actual. Según el pronóstico prepararse a **EVACUAR**.

Antes de salir evaluar la situación del agua en calle (en general es peor). Tener claro hacia dónde dirigirse. Avisar a parientes / conocidos de SU decisión.

Casas en PLANTA ALTA: Colocar **COMPUERTAS**.

Trasladarse la **PLANTA ALTA** y **NO** Evacuar. Dar aviso de su presencia en la vivienda

SECTORES CRÍTICOS

De calle 1 a calle 7 y de calle 54 a calle 59
De calle 7 a calle 10 y de calle 58 a calle 66
De calle 9 a calle 14 y de calle 64 a calle 66/68
Circunvalación (este) desde Dg. 73 hasta calle 7
De calle 120 a calle 7 y de calle 73 a calle 76

Vecinos que se encuentran en la Vía Pública:

PEATONES

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 1 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles con calados y/o velocidad de agua críticos.
- ✓ ¡Evitar aguas en MOVIMIENTO!
- ✓ Buscar elementos tipo bastones, para detectar pozos
- ✓ Evitar cables caídos o presencia de ramas caídas
- ✓ Al evacuar sólo llevar lo imprescindible.
- ✓ En lo posible, NO SALIR salvo para evacuarse.
- ✓ Esperar ayuda / asistencia.

SECTOR 1

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 1

Plaza San Martín: 7 y 51/53

Plaza Matheu 1 y 66

Plaza España 7 y 66

Parque Saavedra esq. ESTE 12 y 68

EN VEHÍCULOS

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 1 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles anegadas. Retirarse del lugar.
- ✓ Si el vehículo FLOTA, abandónelo. En caso que sea posible atarlo a árboles con cadenas.
- ✓ No permanezca dentro de un vehículo detenido.
- ✓ Evitar calles con velocidades altas.
- ✓ No intente llegar a su vivienda con el vehículo si no hay chances de arribar. Déjelo en lugar seguro.
- ✓ VEA GRÁFICO CON CALLES ANEGADAS > 60 cm

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 1

Plaza San Martín: 7 y 51/53

Plaza Matheu 1 y 66

Plaza España 7 y 66

Parque Saavedra esq. ESTE 12 y 68

FICHAS DE CÓMO INFORMAR Y PROCEDER: SECTOR 1

PREVISIONES DE ASISTENCIA

1.- Establecer vías de acceso de EMERGENCIAS y AMBULANCIAS.

Mantenerlas despejadas.

SECTOR 1					
Población Sector 1 = 66.300 / 66.420 personas sobre un área de estudio de 810 Ha					
Recurrencia [años]	Población Afectada S0 / S4 [Hab]	Población Afectada S1 / S4 [Hab]	Heridos AV 6	Muertos AV 6	Área S1/S4 [Ha]
2	693	54	99	0	36.29
5	932	101	122	0	49.06
10	1064	113	137	0	49.18
25	1310	246	164	0	60.72
50	1504	385	186	0	79.21
100	1674	503	217	0	92.75
200	1818	611	223	0	104.62
500	2045	798	255	0	118.78
2 de abril 2013	3374	2296	428	21	183.86
PMP 6 hs	5683	4537	725	45	310.01

SECTOR 1

DEFENSA CIVIL

✓ Equipos Mínimos para asistir:

en forma anual, a 752 afectados directos por inundaciones: Σ Población afectada S0/S4 x Probabilidad

en forma anual, a 102 heridos directos por inundaciones: Σ Heridos x Probabilidad

✓ Disponer de Centros para Evacuados

✓ El Hospital de Niños presenta vulnerabilidad en sus accesos. Prever otros centros de asistencia. ¡Vías de emergencias!

✓ Hospitales en la zona: Hospital San Martín 1 e/69 y 71, Hospital Sbarra (ex casa cuna) 8 y 67, Hospital de Niños, 14 y 66,

✓ Instituto del Diagnóstico, 62 e/ 2 y 3; IPENSA, 4 y 59. Pueden tener dificultades de acceso ante grandes lluvias.

✓ Equipos Mínimos para asistir: SEGÚN LAS ALTURAS DEL AGUA EN CALLES

La cantidad de heridos requiere paso de ambulancias o disponibilidad de ellas. En caso de requerir la asistencia con botes, ubicar centros de trasbordo.

Ayuda a la evacuación de personas

Disponer de refugios elevados, por encima de los 2,0 m para socorro de gente en calle o auto evacuados que no puedan llegar a centros seguros. Estos refugios debieran estar en el baricentro de las zonas críticas.

✓ Ubicar accesos, desde 68 en caso de requerir acceder al Hospital de Niños Sor María Ludovica

✓ El personal a movilizar deberá ser considerado en función de las manzanas a asistir 810 Ha

SECTOR 2

ASISTENCIA A:
VIVIENDAS
VÍA PÚBLICA
CENTROS /
LUGARES
SEGUROS y/o
de
OBSERVANCIA

Mapa: **Ficha Profundidades en Viviendas**
Situación Actual - Sector 2

FICHAS DE CÓMO INFORMAR Y PROCEDER: SECTOR 2

Vecinos que se encuentran en las viviendas:

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

CONSULTAR

- Gráfico SECTOR 2 Profundidad en calles
- Gráfico SECTOR 2 Profundidad en viviendas

Si la vivienda es vulnerable: analizar para qué valores de precipitación. Ver Gráfico Viviendas.

- ✓ Juntar agua segura.
- ✓ Tener disponible un kit de emergencias.
- ✓ Investigar y ubicar las rutas de evacuación, en caso de ser necesario, o dirigirse a lugares SEGUROS (dentro o fuera de la vivienda). Tener establecidos puntos de reunión familiar.
- ✓ Cortar el gas y la electricidad. Disponer de cargadores para telefonía. Tener radio a baterías. Tener linternas con pilas.
- ✓ Disponer de alimentos en caso de no evacuarse. Disponer de ropa seca. Guardar documentos en bolsas plásticas.
- ✓ Conocer el Riesgo dentro de la Vivienda.

DURACION	RECURRENCIA (Expresión VALORES EXTREMOS)									PMP	2deAbr
	2	5	10	25	50	100	200	500			
	[Hs]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
3	38.52	49.70	57.05	66.29	73.11	79.84	86.52	95.29	201.11	267.2	
6	44.70	57.76	66.37	77.22	85.25	93.19	101.08	111.46	279.52	327.4	
12	51.65	66.80	76.81	89.43	98.78	108.05	117.26	117.26	388.51	370.4	
24	59.53	77.03	88.61	103.22	114.05	124.78	135.47	149.56	540.00	392.2	

DURACION	RECURRENCIA (Expresión CABA)									PMP	2deAbr
	2	5	10	25	50	100	200	500			
[Hs]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
3	52.75	70.01	82.59	94.45	112.06	124.45	129.5	144.88	201.11	267.2	
6	64.25	84.01	100.12	117.19	135.94	150.17	157.73	176.46	279.52	327.4	
12	77.73	99.85	120.42	144.60	163.58	179.60	190.84	213.49	388.51	370.4	
24	93.73	118.10	144.28	177.92	196.02	213.83	230.11	257.43	540.00	392.2	

SECTOR 2

VIVIENDAS

2.- ESTAR ATENTO A LA PRECIPITACIÓN:

Intentar analizar la cantidad de agua caída + la intensidad.
Estar atento a la información oficial.

Día: Comunicarse con familiares, vecinos o conocidos.
Observar los niveles de agua en calle. Seguir la evolución de la inundación, si esta ocurre.

Noche: Disponer de lugares **SEGUROS** dentro de la vivienda, trasladarse a Planta Alta.

Vecinos que se encuentran en las viviendas:
Cómo actuar durante el día y durante la noche.

3.- SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA DE RESIDENCIA:

Casas en **PLANTA BAJA**: Colocar COMPUERTAS.

Investigar / conocer el nivel máximo de agua esperable dentro de la vivienda. Situación actual. Según el pronóstico prepararse a EVACUAR.

Antes de salir evaluar la situación del agua en calle (en general es peor). Tener claro hacia dónde dirigirse. Avisar a parientes / conocidos de SU decisión.

Casas en **PLANTA ALTA**: Colocar COMPUERTAS.

Trasladarse la PLANTA ALTA y NO Evacuar. Dar aviso de su presencia en la vivienda

SECTORES CRÍTICOS

De calle 19 a calle 25 y de calle 60 a calle 66

De calle 25 a calle 31 y de calle 64 a calle 70

De calle 54 a calle 59 y de calle 25 a calle 31

De calle 55 a calle 64 y de calle 131 a calle 140

De calle 67 a calle 76 y de calle 131 a calle 143

De calle 27 a 31 y de calle 72 a calle 78

De calle 23 a calle 25 y de calle 67 a calle 70

Vecinos que se encuentran en la Vía Pública:

PEATONES

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 2 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles con calados y/o velocidad de agua críticos.
- ✓ ¡Evitar aguas en MOVIMIENTO!
- ✓ Buscar elementos tipo bastones, para detectar pozos
- ✓ Evitar cables caídos o presencia de ramas caídas
- ✓ Al evacuar sólo llevar lo imprescindible.
- ✓ En lo posible, NO SALIR salvo para evacuarse.
- ✓ Esperar ayuda / asistencia.

SECTOR 2

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 2

Dentro del casco urbano: Instituto Mater Dei / Instituto Terrero / Parroquia Nuestra Señora de Luján de 27 a 28 y de 60 a 61

Fuera del casco urbano: de 131 a 140 y de 64 a 66

EN VEHÍCULOS

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 2 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles anegadas. Retirarse del lugar.
- ✓ Si el vehículo FLOTA, abandónelo. En caso que sea posible atarlo a árboles con cadenas.
- ✓ No permanezca dentro de un vehículo detenido.
- ✓ Evitar calles con velocidades altas.
- ✓ No intente llegar a su vivienda con el vehículo si no hay chances de arribar. Déjelo en lugar seguro.
- ✓ VEA GRÁFICO CON CALLES ANEGADAS > 60 cm

SECTOR 2

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 2

La avenida de circunvalación puede cortarse en dos 2 lugares preferentes: desde calle 55 a 61 y desde 67 a 28.

Desde el casco hacia 143, en ambos sentidos SÓLO se podría cruzar por calles 65 y 66. Dejarlas LIBERADAS.

Los accesos al Hospital San Juan de Dios (27 y 70) y al Hospital Italiano (52 y 29) quedan condicionados a la ubicación de las personas.

PREVISIONES DE ASISTENCIA

- 1.- Establecer vías de acceso de EMERGENCIAS y AMBULANCIAS.
Mantenerlas despejadas.

SECTOR 2

Población Sector 2 = 47.800 / 47.980 personas sobre un área de estudio de 852 Ha

Recurrencia [años]	Población Afectada S0 / S4 [Hab]	Población Afectada S1 / S4 [Hab]	Heridos AV 6	Muertos AV 6	Área S1/S4 [Ha]
2	503	49	66	0	52.04
5	687	110	83	0	70.71
10	832	178	105	0	78.85
25	1020	262	121	0	76.32
50	1166	380	139	0	111.12
100	1314	502	162	0	131.83
200	1448	613	184	0	152.32
500	1652	812	203	0	180.21
2 de abril 2013	2555	1155	326	6	267.29
PMP 6 hs	5100	4425	641	32	435.51

SECTOR 2

DEFENSA CIVIL

✓ Equipos Mínimos para asistir:

en forma anual, a 560 afectados directos por inundaciones: Σ Población afectada S0/S4 x Probabilidad

en forma anual, a 71 heridos directos por inundaciones: Σ Heridos x Probabilidad

✓ Disponer de Centros para Evacuados

✓ El Hospital San Juan de Dios tiene libre accesos, pero puede quedar aislado. Prever otros centros de asistencia. Vías de emergencias!

✓ El Hospital Italiano tiene libre accesos, pero puede quedar fuera del acceso de zonas críticas. Vías de emergencias!

✓ Equipos Mínimos para asistir: SEGÚN LAS ALTURAS DEL AGUA EN CALLES

La cantidad de heridos requiere paso de ambulancias o disponibilidad de ellas. En caso de requerir la asistencia con botes, ubicar centros de trasbordo.

Ayuda a la evacuación de personas

Disponer de refugios elevados, por encima de los 2,0 m para socorro de gente en calle o auto evacuados que no puedan llegar a centros seguros. Estos refugios debieran estar entre 64 y 66 próximos a la avenida de circunvalación de la ciudad.

✓ Ubicar accesos, hacia el Hospital San Juan de Dios y Hospital Italiano.

✓

✓ El personal a movilizar deberá ser considerado en función de las manzanas a asistir 852 Ha

SECTOR 3

ASISTENCIA A:
VIVIENDAS
VÍA PÚBLICA
CENTROS /
LUGARES
SEGUROS y/o
de
OBSERVANCIA

Mapa: Ficha Profundidades en Viviendas
Situación Actual - Sector 3

Referencia

Vías Principales - La Plata
Dominio de Modelación

Calles con Profundidades Mayores a 60 cm

- Recurrencia 10 años
- Recurrencia 25 años
- Recurrencia 100 años
- Recurrencia 500 años
- Evento PMP

Infraestructura Crítica

- Municipalidad de La Plata
- Gobierno de la Prov. de Buenos Aires
- Subsecretaría de Atención del Riesgo
- Hospital
- Centro Educativo
- Centro Deportivo
- Teatro/Museo/Cine
- Centro Comunitario

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: **Ficha Profundidades en Calles
Situación Actual - Sector 3**

Mapa: 12 Hoja: 03/05

LLUVIA	RECURRENCIA					
	10	25	100	500	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	83	94	124	145	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	100	115	150	176	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	120	139	180	213	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	28.9	33.7	40.7	48.8	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	33.3	38.8	46.9	56.3	25.8	95.8

FICHAS DE CÓMO INFORMAR Y PROCEDER: SECTOR 3

Vecinos que se encuentran en las viviendas:

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

CONSULTAR

- Gráfico SECTOR 3 Profundidad en calles
- Gráfico SECTOR 3 Profundidad en viviendas

Si la vivienda es vulnerable: analizar para qué valores de precipitación. Ver Gráfico Viviendas.

- ✓ Juntar agua segura.
- ✓ Tener disponible un kit de emergencias.
- ✓ Investigar y ubicar las rutas de evacuación, en caso de ser necesario, o dirigirse a lugares SEGUROS (dentro o fuera de la vivienda). Tener establecidos puntos de reunión familiar.
- ✓ Cortar el gas y la electricidad. Disponer de cargadores para telefonía. Tener radio a baterías. Tener linternas con pilas.
- ✓ Disponer de alimentos en caso de no evacuarse. Disponer de ropa seca. Guardar documentos en bolsas plásticas.
- ✓ Conocer el Riesgo dentro de la Vivienda.

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión VALORES EXTREMOS)									PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]			
3	38.52	49.70	57.05	66.29	73.11	79.84	86.52	95.29		201.11	267.2
6	44.70	57.76	66.37	77.22	85.25	93.19	101.08	111.46		279.52	327.4
12	51.65	66.80	76.81	89.43	98.78	108.05	117.26	117.26		388.51	370.4
24	59.53	77.03	88.61	103.22	114.05	124.78	135.47	149.56		540.00	392.2

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión CABA)									PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]			
3	52.75	70.01	82.59	94.45	112.06	124.45	129.5	144.88		201.11	267.2
6	64.25	84.01	100.12	117.19	135.94	150.17	157.73	176.46		279.52	327.4
12	77.73	99.85	120.42	144.60	163.58	179.60	190.84	213.49		388.51	370.4
24	93.73	118.10	144.28	177.92	196.02	213.83	230.11	257.43		540.00	392.2

SECTOR 3

VIVIENDAS

2.- ESTAR ATENTO A LA PRECIPITACIÓN:

Intentar analizar la cantidad de agua caída + la intensidad.
Estar atento a la información oficial.

Día: Comunicarse con familiares, vecinos o conocidos.
Observar los niveles de agua en calle. Seguir la evolución de la inundación, si esta ocurre.

Noche: Disponer de lugares **SEGUROS** dentro de la vivienda, trasladarse a Planta Alta.

Vecinos que se encuentran en las viviendas:
Cómo actuar durante el día y durante la noche.

3.- SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA DE RESIDENCIA:

Casas en **PLANTA BAJA**: Colocar COMPUERTAS.

Investigar / conocer el nivel máximo de agua esperable dentro de la vivienda. Situación actual. Según el pronóstico prepararse a EVACUAR.

Antes de salir evaluar la situación del agua en calle (en general es peor). Tener claro hacia dónde dirigirse. Avisar a parientes / conocidos de SU decisión.

Casas en **PLANTA ALTA**: Colocar COMPUERTAS.

Trasladarse la PLANTA ALTA y NO Evacuar. Dar aviso de su presencia en la vivienda

SECTORES CRÍTICOS

De calle 24 a calle 143 y de calle 33 a calle 40

De calle 29 a calle 144 y de calle 40 a calle 49

Próximo al A° del Gato

Vecinos que se encuentran en la Vía Pública:

PEATONES

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 3 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles con calados y/o velocidad de agua críticos.
- ✓ ¡Evitar aguas en MOVIMIENTO!
- ✓ Buscar elementos tipo bastones, para detectar pozos
- ✓ Evitar cables caídos o presencia de ramas caídas
- ✓ Al evacuar sólo llevar lo imprescindible.
- ✓ En lo posible, NO SALIR salvo para evacuarse.
- ✓ Esperar ayuda / asistencia.

SECTOR 3

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 3

Dentro del casco urbano: Plaza 19 de Noviembre 44 y 25

Fuera del casco urbano: la cumbre 32 y 131 y zona de 44 y 137

EN VEHÍCULOS

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 3 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles anegadas. Retirarse del lugar.
- ✓ Si el vehículo FLOTA, abandónelo. En caso que sea posible atarlo a árboles con cadenas.
- ✓ No permanezca dentro de un vehículo detenido.
- ✓ Evitar calles con velocidades altas.
- ✓ No intente llegar a su vivienda con el vehículo si no hay chances de arribar. Déjelo en lugar seguro.
- ✓ VEA GRÁFICO CON CALLES ANEGADAS > 60 cm

SECTOR 3

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 3

La avenida de circunvalación puede cortarse: desde calle 36 a 44. Y toda la zona de calle 38 del sector 3.

La avenida 44, en este sector aparece como segura, salvo la zona de 131 a 134.

Los colegios San Cayetano (44 y 29) y San Miguel (44 y 134) son lugares seguros.

Lo mismo para la calle 32 desde 131 a 137.

PREVISIONES DE ASISTENCIA

1.- Establecer vías de acceso de EMERGENCIAS y
AMBULANCIAS.

Mantenerlas despejadas.

SECTOR 3

Población Sector 3 = 37.540 / 37.625 personas sobre un área de estudio de 786 Ha

Recurrencia [años]	Población Afectada S0 / S4 [Hab]	Población Afectada S1 / S4 [Hab]	Heridos AV 6	Muertos AV 6	Área S1/S4 [Ha]
2	394	51	48	0	64.18
5	531	88	64	0	77.86
10	615	104	68	0	83.90
25	702	103	85	0	60.94
50	793	150	95	0	72.98
100	870	194	105	0	72.01
200	964	258	117	0	87.31
500	1112	409	136	0	119.04
2 de abril 2013	1876	1323	233	5	199.43
PMP 6 hs	3204	2573	407	15	294.97

SECTOR 3

DEFENSA CIVIL

✓ Equipos Mínimos para asistir:

en forma anual, a 424 afectados directos por inundaciones: Σ Población afectada S0/S4 x Probabilidad

en forma anual, a 51 heridos directos por inundaciones: Σ Heridos x Probabilidad

✓ Disponer de Centros para Evacuados

✓ No hay hospitales en la zona! El más próximo es el Hospital Italiano. Garantizar accesos libres desde todo el sector.

✓ Equipos Mínimos para asistir: SEGÚN LAS ALTURAS DEL AGUA EN CALLES

La cantidad de heridos requiere paso de ambulancias o disponibilidad de ellas. En caso de requerir la asistencia con botes, ubicar centros de trasbordo.

Ayuda a la evacuación de personas

Disponer de refugios elevados, por encima de los 2,0 m para socorro de gente en calle o auto evacuados que no puedan llegar a centros seguros.

Se encuentra en el Sector 3 el centro comunitario San Carlos, que habría que equiparlo para las emergencias y disponer de otros cerca de la plaza 19 de Noviembre.

✓ Ubicar accesos hacia el Hospital Italiano.

✓ El personal a movilizar deberá ser considerado en función de las manzanas a asistir 786 Ha

SECTOR 4

ASISTENCIA A:

**VIVIENDAS
VÍA PÚBLICA
CENTROS /
LUGARES
SEGUROS y/o
de
OBSERVANCIA**

Mapa: **Ficha Profundidades en Viviendas**
Situación Actual - Sector 4

FICHAS DE CÓMO INFORMAR Y PROCEDER: SECTOR 4

Vecinos que se encuentran en las viviendas:

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

CONSULTAR

- Gráfico SECTOR 4 Profundidad en calles
- Gráfico SECTOR 4 Profundidad en viviendas

Si la vivienda es vulnerable: analizar para qué valores de precipitación. Ver Gráfico Viviendas.

- ✓ Juntar agua segura.
- ✓ Tener disponible un kit de emergencias.
- ✓ Investigar y ubicar las rutas de evacuación, en caso de ser necesario, o dirigirse a lugares SEGUROS (dentro o fuera de la vivienda). Tener establecidos puntos de reunión familiar.
- ✓ Cortar el gas y la electricidad. Disponer de cargadores para telefonía. Tener radio a baterías. Tener linternas con pilas.
- ✓ Disponer de alimentos en caso de no evacuarse. Disponer de ropa seca. Guardar documentos en bolsas plásticas.
- ✓ Conocer el Riesgo dentro de la Vivienda.

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión VALORES EXTREMOS)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	38.52	49.70	57.05	66.29	73.11	79.84	86.52	95.29	201.11	267.2
6	44.70	57.76	66.37	77.22	85.25	93.19	101.08	111.46	279.52	327.4
12	51.65	66.80	76.81	89.43	98.78	108.05	117.26	117.26	388.51	370.4
24	59.53	77.03	88.61	103.22	114.05	124.78	135.47	149.56	540.00	392.2

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión CABA)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	52.75	70.01	82.59	94.45	112.06	124.45	129.5	144.88	201.11	267.2
6	64.25	84.01	100.12	117.19	135.94	150.17	157.73	176.46	279.52	327.4
12	77.73	99.85	120.42	144.60	163.58	179.60	190.84	213.49	388.51	370.4
24	93.73	118.10	144.28	177.92	196.02	213.83	230.11	257.43	540.00	392.2

SECTOR 4

VIVIENDAS

2.- ESTAR ATENTO A LA PRECIPITACIÓN:

Intentar analizar la cantidad de agua caída + la intensidad.
Estar atento a la información oficial.

Día: Comunicarse con familiares, vecinos o conocidos.
Observar los niveles de agua en calle. Seguir la evolución de la inundación, si esta ocurre.

Noche: Disponer de lugares **SEGUROS** dentro de la vivienda, trasladarse a Planta Alta.

Vecinos que se encuentran en las viviendas:
Cómo actuar durante el día y durante la noche.

3.- SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA DE RESIDENCIA:

Casas en **PLANTA BAJA**: Colocar **COMPUERTAS**.

Investigar / conocer el nivel máximo de agua esperable dentro de la vivienda. Situación actual. Según el pronóstico prepararse a **EVACUAR**.

Antes de salir evaluar la situación del agua en calle (en general es peor). Tener claro hacia dónde dirigirse. Avisar a parientes / conocidos de SU decisión.

Casas en **PLANTA ALTA**: Colocar **COMPUERTAS**.

Trasladarse la **PLANTA ALTA** y **NO** Evacuar. Dar aviso de su presencia en la vivienda

SECTORES CRÍTICOS

*Cauces urbanos del A° Regimiento
Desde Plaza Belgrano a Plaza Yrigoyen de 19 y 60*

*Cauces urbanos del A° Pérez
Desde calles 17 y 32 a calles 131 y 40*

Vecinos que se encuentran en la Vía Pública:

PEATONES

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 4 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles con calados y/o velocidad de agua críticos.
- ✓ ¡Evitar aguas en MOVIMIENTO!
- ✓ Buscar elementos tipo bastones, para detectar pozos
- ✓ Evitar cables caídos o presencia de ramas caídas
- ✓ Al evacuar sólo llevar lo imprescindible.
- ✓ En lo posible, NO SALIR salvo para evacuarse.
- ✓ Esperar ayuda / asistencia.

SECTOR 4

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 4

Dentro del casco urbano: Plaza Güemes 19 y 38, Plaza 19 de Noviembre 44 y 25, Parte de Plaza Moreno 14 y 50, Parque San Martín sobre calle 50, y Plaza Azcuénaga 19 y 44

No hay hospitales en la zona segura del Sector 4

EN VEHÍCULOS

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 4 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles anegadas. Retirarse del lugar.
- ✓ Si el vehículo FLOTA, abandónelo. En caso que sea posible atarlo a árboles con cadenas.
- ✓ No permanezca dentro de un vehículo detenido.
- ✓ Evitar calles con velocidades altas.
- ✓ No intente llegar a su vivienda con el vehículo si no hay chances de arribar. Déjelo en lugar seguro.
- ✓ VEA GRÁFICO CON CALLES ANEGADAS > 60 cm

SECTOR 4

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 3

Desde 17 y 36 hasta 29 y 47.

Desde 44 y 8 hasta 44 y 11.

Desde 14 y 48 hasta 16 y 56.

PREVISIONES DE ASISTENCIA

- 1.- Establecer vías de acceso de EMERGENCIAS y AMBULANCIAS.
Mantenerlas despejadas.

SECTOR 4

Población Sector 4 = 60.050 / 60.200 personas sobre un área de estudio de 852 Ha

Recurrencia [años]	Población Afectada S0 / S4 [Hab]	Población Afectada S1 / S4 [Hab]	Heridos AV 6	Muertos AV 6	Área S1/S4 [Ha]
2	616	49	89	0	43.91
5	822	64	112	0	38.82
10	974	125	128	0	52.88
25	1282	341	166	0	77.26
50	1494	501	191	0	97.79
100	1735	729	220	0	130.56
200	1936	911	240	0	153.95
500	2230	1207	279	0	188.53
2 de abril 2013	4415	3655	560	20	317.71
PMP 6 hs	7355	6569	925	52	444.44

SECTOR 4

DEFENSA CIVIL

✓ Equipos Mínimos para asistir:

en forma anual, a 682 afectados directos por inundaciones: Σ Población afectada S0/S4 x Probabilidad

en forma anual, a 94 heridos directos por inundaciones: Σ Heridos x Probabilidad

✓ Disponer de Centros para Evacuados. Hay varios centros educativos en el sector.

✓ Hospital Mater Dei, calle 45 y 13 es el que se encuentra en el Sector. Los más próximos: es el Hospital Subzonal de 8 y 42, y el Sanatorio Argentino, en 56 y 12. Garantizar accesos libres desde todo el sector.

✓ Equipos Mínimos para asistir: SEGÚN LAS ALTURAS DEL AGUA EN CALLES

La cantidad de heridos requiere paso de ambulancias o disponibilidad de ellas. En caso de requerir la asistencia con botes, ubicar centros de trasbordo.

Ayuda a la evacuación de personas

Disponer de refugios elevados, por encima de los 2,0 m para socorro de gente en calle o auto evacuados que no puedan llegar a centros seguros.

✓ Ubicar accesos hacia el Hospital Mater Dei. Puede tener comprometido el acceso según el centro de la emergencia.

✓ El personal a movilizar deberá ser considerado en función de las manzanas a asistir 852 Ha

SECTOR 5

ASISTENCIA A:

VIVIENDAS

VÍA PÚBLICA

CENTROS /

LUGARES

SEGUROS y/o

de

OBSERVANCIA

Mapa: Ficha Profundidades en Viviendas
Situación Actual - Sector 5

FICHAS DE CÓMO INFORMAR Y PROCEDER: SECTOR 5

Vecinos que se encuentran en las viviendas:

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

CONSULTAR

- Gráfico SECTOR 5 Profundidad en calles
- Gráfico SECTOR 5 Profundidad en viviendas

Si la vivienda es vulnerable: analizar para qué valores de precipitación. Ver Gráfico Viviendas.

- ✓ Juntar agua segura.
- ✓ Tener disponible un kit de emergencias.
- ✓ Investigar y ubicar las rutas de evacuación, en caso de ser necesario, o dirigirse a lugares SEGUROS (dentro o fuera de la vivienda). Tener establecidos puntos de reunión familiar.
- ✓ Cortar el gas y la electricidad. Disponer de cargadores para telefonía. Tener radio a baterías. Tener linternas con pilas.
- ✓ Disponer de alimentos en caso de no evacuarse. Disponer de ropa seca. Guardar documentos en bolsas plásticas.
- ✓ Conocer el Riesgo dentro de la Vivienda.

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión VALORES EXTREMOS)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	38.52	49.70	57.05	66.29	73.11	79.84	86.52	95.29	201.11	267.2
6	44.70	57.76	66.37	77.22	85.25	93.19	101.08	111.46	279.52	327.4
12	51.65	66.80	76.81	89.43	98.78	108.05	117.26	117.26	388.51	370.4
24	59.53	77.03	88.61	103.22	114.05	124.78	135.47	149.56	540.00	392.2

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión CABA)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	52.75	70.01	82.59	94.45	112.06	124.45	129.5	144.88	201.11	267.2
6	64.25	84.01	100.12	117.19	135.94	150.17	157.73	176.46	279.52	327.4
12	77.73	99.85	120.42	144.60	163.58	179.60	190.84	213.49	388.51	370.4
24	93.73	118.10	144.28	177.92	196.02	213.83	230.11	257.43	540.00	392.2

SECTOR 5

VIVIENDAS

2.- ESTAR ATENTO A LA PRECIPITACIÓN:

Intentar analizar la cantidad de agua caída + la intensidad.
Estar atento a la información oficial.

Día: Comunicarse con familiares, vecinos o conocidos.
Observar los niveles de agua en calle. Seguir la evolución de la inundación, si esta ocurre.

Noche: Disponer de lugares **SEGUROS** dentro de la vivienda, trasladarse a Planta Alta.

Vecinos que se encuentran en las viviendas:
Cómo actuar durante el día y durante la noche.

3.- SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA DE RESIDENCIA:

Casas en **PLANTA BAJA**: Colocar **COMPUERTAS**.

Investigar / conocer el nivel máximo de agua esperable dentro de la vivienda. Situación actual. Según el pronóstico prepararse a **EVACUAR**.

Antes de salir evaluar la situación del agua en calle (en general es peor). Tener claro hacia dónde dirigirse. Avisar a parientes / conocidos de SU decisión.

Casas en **PLANTA ALTA**: Colocar **COMPUERTAS**.

Trasladarse la **PLANTA ALTA** y **NO** Evacuar. Dar aviso de su presencia en la vivienda

SECTORES CRÍTICOS

De calle 7 a calle 15 y de calle 32 a calle 39

De calle 4 a calle 19 y de calle 526 a calle 532

De calle 7 a calle 10 y de calle 516 a calle 525

De calle 15 a calle 20 y de calle 520 a calle 523

Vecinos que se encuentran en la Vía Pública:

PEATONES

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 5 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles con calados y/o velocidad de agua críticos.
- ✓ ¡Evitar aguas en MOVIMIENTO!
- ✓ Buscar elementos tipo bastones, para detectar pozos
- ✓ Evitar cables caídos o presencia de ramas caídas
- ✓ Al evacuar sólo llevar lo imprescindible.
- ✓ En lo posible, NO SALIR salvo para evacuarse.
- ✓ Esperar ayuda / asistencia.

SECTOR 5

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 5

Plaza Olazábal: 7 y 38

Estación del FF.CC. en Tolosa

Calle 1 y zonas de vías

Círculo Policial 17/19 y 526/528

EN VEHÍCULOS

1.- Conocer el ENTORNO y la VULNERABILIDAD:

- Consultar Gráfico SECTOR 5 Profundidad en calles

- ✓ Evitar calles anegadas. Retirarse del lugar.
- ✓ Si el vehículo FLOTA, abandónelo. En caso que sea posible atarlo a árboles con cadenas.
- ✓ No permanezca dentro de un vehículo detenido.
- ✓ Evitar calles con velocidades altas.
- ✓ No intente llegar a su vivienda con el vehículo si no hay chances de arribar. Déjelo en lugar seguro.
- ✓ VEA GRÁFICO CON CALLES ANEGADAS > 60 cm

SECTOR 5

VIA PÚBLICA

ZONAS SEGURAS EN EL SECTOR 5

Plaza Olazábal: 7 y 38

Estación del FF.CC. en Tolosa

Calle 1 y zonas de vías

Círculo Policial 17/19 y 526/528

EVITAR CALLES INTERMEDIAS – CIRCULAR POR AVENIDAS SEGURAS

PREVISIONES DE ASISTENCIA

1.- Establecer vías de acceso de EMERGENCIAS y
AMBULANCIAS.

Mantenerlas despejadas.

SECTOR 5

Población Sector 5 = 48.480 / 48.665 personas sobre un área de estudio de 815 Ha

Recurrencia [años]	Población Afectada S0 / S4 [Hab]	Población Afectada S1 / S4 [Hab]	Heridos AV 6	Muertos AV 6	Área S1/S4 [Ha]
2	512	55	73	0	48.87
5	673	75	87	0	54.30
10	832	149	103	0	61.55
25	1051	293	133	0	79.44
50	1231	454	151	0	113.37
100	1440	667	170	0	152.90
200	1686	918	204	0	197.93
500	2042	1298	252	0	258.53
2 de abril 2013	5710	5304	719	42	482.66
PMP 6 hs	7525	7128	956	66	554.56

SECTOR 5

DEFENSA CIVIL

✓ Equipos Mínimos para asistir:

en forma anual, a 567 afectados directos por inundaciones: Σ Población afectada S0/S4 x Probabilidad

en forma anual, a 76 heridos directos por inundaciones: Σ Heridos x Probabilidad

✓ Disponer de Centros para Evacuados

✓ El Hospital Español presenta vulnerabilidad en sus accesos. Prever otros centros de asistencia. Vías de emergencias!

✓ Equipos Mínimos para asistir: SEGÚN LAS ALTURAS DEL AGUA EN CALLES

La cantidad de heridos requiere paso de ambulancias o disponibilidad de ellas. En caso de requerir la asistencia con botes, ubicar centros de trasbordo.

Ayuda a la evacuación de personas

Disponer de refugios elevados, por encima de los 2,0 m para socorro de gente en calle o auto evacuados que no puedan llegar a centros seguros. Estos refugios debieran estar en el baricentro de las zonas críticas.

✓ Ubicar cruces con el FF.CC. en caso de requerir acceder al Hospital Rossi.

✓ El personal a movilizar deberá ser considerado en función de las manzanas a asistir: 815 Ha.

CAPÍTULO 8: MAPAS RESULTANTES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

*Se dice que el tiempo cambia las cosas,
pero en realidad
es uno el que tiene que cambiarlas.*

Andy Warhol, artista americano (1928 - 1987)

8 MAPAS GENERADOS EN ESTE TRABAJO

8.1 INTRODUCCIÓN

Se han generado mapas que han servido de base para los estudios realizados. Se presentan a continuación varios de ellos que permiten observar, o no, cambios en función de las fases analizadas.

8.2 FASE 1: SITUACIÓN AL AÑO 2013

Se incorporan mapas de profundidades de agua, velocidades y severidades para la tormenta del día 2 de abril de 2013.

8.3 FASE 2: SITUACIÓN ACTUAL CON OBRAS EJECUTADAS

Se incorporan mapas de profundidades de agua, velocidades y severidades para las tormentas de recurrencia 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años; y para la correspondiente al día 2 de abril de 2013 y la Precipitación Máxima Probable.

8.4 FASE 3A: SITUACIÓN ACTUAL CON PROPUESTA DE RESERVORIOS

Se incorporan mapas de profundidades de agua, y severidades para las tormentas de recurrencia 5, 10 y 25 años; que corresponden a aquellas recurrencias donde deberían esperarse cambios, dado que son las de proyecto.

8.5 FASE 3B: SITUACIÓN ACTUAL CON PROPUESTA DE TÚNELES

Se incorporan mapas de profundidades de agua, y severidades para las tormentas de recurrencia 10, 25 y 50 años; que corresponden a aquellas recurrencias donde deberían esperarse cambios, dado que son próximas a las de proyecto.

8.6 SITUACIÓN ACTUAL CON ALTURAS Y SEVERIDADES PONDERADAS EN FUNCIÓN DE SU PROBABILIDAD

Se incorporan mapas de profundidades de agua y severidades con todas las tormentas de recurrencias estudiadas, ponderadas en función de la probabilidad anual, para metas de 1 años, 10 años y 20 años, en función de la amenaza o riesgo pluvial.

Referencias

- Ubicación-Fallecidos
- Dominio de Modelación
- Vías_Principales - La Plata

Evento 2 de Abril - Situación al 2013

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- >1.65

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación al 2013 - Evento 2 de Abril

Mapa: 01 Hoja: 01/01

Referencias

- Ubicación - Fallecidos
- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento 2 de Abril - Situación al 2013

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

MAESTRÍA EN
ecohidrología

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Velocidades**
Situación al 2013 - Evento 2 de Abril

Mapa: **02** Hoja: **01/01**

Referencias

- Ubicación - Fallecidos
- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento 2 de Abril - Situación al 2013

Severidad	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación al 2013 - Evento 2 de Abril

Mapa: 03

Hoja: 01/01

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 2 años - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE
DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE
LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:

Ing. José Luis Carner

Director de Tesis:

Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento Rec. 2 años

Mapa:

04

Hoja:

01/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 5 años - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:

Ing. José Luis Carner

Director de Tesis:

Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades

Situación Actual - Evento Rec. 5 años

Mapa:

04

Hoja:

02/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 10 años - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento Rec. 10 años

Mapa: 04

Hoja: 03/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 25 años - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento Rec. 25 años

Mapa: 04

Hoja: 04/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 50 años - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN ecohidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento Rec. 50 años

Mapa: 04

Hoja: 05/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 100 años - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.15 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento Rec. 100 años

Mapa: 04 Hoja: 06/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 200 años - Situación Actual

- H
- 0.15 - 0.60
 - 0.61 - 1.05
 - 1.06 - 1.65
 - > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento Rec. 200 años

Mapa: 04 Hoja: 07/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 500 años - Situación Actual

- H
- 0.15 - 0.60
 - 0.61 - 1.05
 - 1.06 - 1.65
 - > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento Rec. 500 años

Mapa: 04 Hoja: 08/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento 2 de Abril - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento 2 de Abril

Mapa: 04 Hoja: 09/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento PMP - Situación Actual

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación Actual - Evento PMP

Mapa: 04 Hoja: 10/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 2 años - Situación Actual
Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Velocidades**
Situación Actual - Evento Rec. 2 años

Mapa: **05** Hoja: **01/10**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 5 años - Situación Actual

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Velocidades**
Situación Actual - Evento Rec. 5 años

Mapa: **05** Hoja: **02/10**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 10 años - Situación Actual

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Velocidades**
Situación Actual - Evento Rec. 10 años

Mapa: **05** Hoja: **03/10**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 25 años - Situación Actual
Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37.4	50.3	58.8	68.1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19.4	25.1	28.9	33.7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22.4	29.0	33.3	38.8

MAESTRÍA EN
ecohidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Velocidades
Situación Actual - Evento Rec. 25 años

Mapa: 05

Hoja: 04/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 50 años - Situación Actual

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN ecohidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Velocidades
Situación Actual - Evento Rec. 50 años

Mapa: 05

Hoja: 05/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 100 años - Situación Actual
Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Velocidades
Situación Actual - Evento Rec. 100 años

Mapa: 05 Hoja: 06/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 200 años - Situación Actual

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN
ecohidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Velocidades
Situación Actual - Evento Rec. 200 años

Mapa: 05

Hoja: 07/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 500 años - Situación Actual

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Velocidades**
Situación Actual - Evento Rec. 500 años

Mapa: **05** Hoja: **08/10**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento 2 de Abril - Situación Actual

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

MAESTRÍA EN
ecohidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Velocidades
Situación Actual - Evento 2 de Abril

Mapa: 05

Hoja: 09/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento PMP - Situación Actual

Velocidades [m/s]

- 1
- 2
- 3

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

MAESTRÍA EN ecohidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Velocidades
Situación Actual - Evento PMP

Mapa:

05

Hoja:

10/10

Referencias

Dominio de Modelación

Vías Principales - La Plata

Evento R 2 años - Situación Actual
Severidad

0	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
1	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
2	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 2 años

Mapa: 06

Hoja: 01/10

Referencias

Dominio de Modelación

Vías Principales - La Plata

Evento R 5 años - Situación Actual
Severidad

0

1

2

3

4

S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 5 años

Mapa: 06

Hoja: 02/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 10 años - Situación Actual

Severidad	S 0				
	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA ENecohidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 10 años

Mapa: 06

Hoja: 03/10

Referencias

Dominio de Modelación

Vías Principales - La Plata

Evento R 25 años - Situación Actual
Severidad

0	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
1	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
2	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 25 años

Mapa: 06

Hoja: 04/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 50 años - Situación Actual

Severidad	S 0				
	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 50 años

Mapa: 06 Hoja: 05/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 100 años - Situación Actual

Severidad	S 0				
	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN
ecohidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 100 años

Mapa: 06

Hoja: 06/10

Referencias

Dominio de Modelación

Vías Principales - La Plata

Evento R 200 años - Situación Actual
Severidad

0	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
1	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
2					
3	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 200 años

Mapa: 06

Hoja: 07/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 500 años - Situación Actual

Severidad	S 0				
	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN
ecohidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento Rec. 500 años

Mapa: 06

Hoja: 08/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento 2 de Abril - Situación Actual

Severidad	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
0	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Severidades
Situación Actual - Evento 2 de Abril

Mapa: 06 Hoja: 09/10

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento PMP - Situación Actual

Severidad	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	2 de Abril	PMP
Volumen Total 3 Hs [mm]	302.1	305.48
Volumen Total 6 Hs [mm]	363.7	365.48
Volumen Total 12 Hs [mm]	370.3	444.39
Volumen Máx. en 5' V.E.	14.0	60.3
Volumen Máx. en 10' V.E.	25.8	95.8

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata
- Reservorios

Evento R 5 años - Situación Con Reservorios

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Profundidades**
Situación c/Reservorios - Evento Rec. 5 años

Mapa: **07** Hoja: **01/03**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata
- Reservorios

Evento R 10 años - Situación Con Reservorios

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación c/Reservorios - Evento Rec. 10 años

Mapa: 07 Hoja: 02/03

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata
- Reservorios

Evento R 25 años - Situación Con Reservorios

Profundidades [m]

- 0.15 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Profundidades
Situación c/Reservorios - Evento Rec. 25 años

Mapa: 07
Hoja: 03/03

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata
- Reservorios

Evento R 5 años - Situación Con Reservorios

Severidad

	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0					
1	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
2					
3	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Severidades
Situación c/Reservorios - Evento Rec. 5 años

Mapa: 08 Hoja: 01/03

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata
- Reservorios

Evento R 10 años - Situación Con Reservorios
Severidad

0	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
1	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
2	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Severidades**
Situación c/Reservorios - Evento Rec. 10 años

Mapa: **08** Hoja: **02/03**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata
- Reservorios

Evento R 25 años - Situación Con Reservorios

Severidad

0	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
1	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
2	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA EN **ecohidrología**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Severidades**
Situación c/Reservorios - Evento Rec. 25 años

Mapa: **08**

Hoja: **03/03**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 10 años - Situación Con Reservorios

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades
Situación c/Túneles - Evento Rec. 10 años

Mapa: 09

Hoja: 01/03

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 25 años - Situación Con Reservorios
Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Profundidades**
Situación c/Túneles - Evento Rec. 25 años

Mapa: **09** Hoja: **02/03**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 50 años - Situación Con Reservorios

Profundidades [m]

- 0.30 - 0.60
- 0.61 - 1.05
- 1.06 - 1.65
- > 1.65

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades
Situación c/Túneles - Evento Rec. 50 años

Mapa: 09

Hoja: 03/03

Referencias

Dominio de Modelación

Vías Principales - La Plata

Evento R 10 años - Situación Con Túneles
Severidad

0	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
1	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
2	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación c/Túneles - Evento Rec. 10 años

Mapa: 10

Hoja: 01/03

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 25 años - Situación Con Túneles

Severidad	S 0				
	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	2	5	10	25
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	103/85	133/112	159/132	185/153
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	37,4	50,3	58,8	68,1
Volumen Total 3 Hs [mm]	53	70	83	94
Volumen Total 6 Hs [mm]	64	84	100	115
Volumen Total 12 Hs [mm]	77	100	120	139
Volumen Máx. en 5' V.E.	19,4	25,1	28,9	33,7
Volumen Máx. en 10' V.E.	22,4	29,0	33,3	38,8

MAESTRÍA EN
ecohidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación c/Túneles - Evento Rec. 25 años

Mapa: 10

Hoja: 03/03

Referencias

- Dominio de Modelación
- Vías Principales - La Plata

Evento R 50 años - Situación Con Túneles

Severidad	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
0	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
1	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.
2					
3					
4					

Precipitaciones

LLUVIA	RECURRENCIA			
	50	100	200	500
Intensidad Máx. 10'/15' [mm/h]	213/178	236/198	254/209	284/234
Intensidad Máx. 60' [mm/h]	79.6	88.8	91.9	102.8
Volumen Total 3 Hs [mm]	112	124	129	145
Volumen Total 6 Hs [mm]	136	150	158	176
Volumen Total 12 Hs [mm]	164	180	191	213
Volumen Máx. en 5' V.E.	37.2	40.7	44.1	48.8
Volumen Máx. en 10' V.E.	42.9	46.9	50.8	56.3

MAESTRÍA EN

eco

hidrología

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Carner
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Severidades
Situación c/Túneles - Evento Rec. 50 años

Mapa: 10

Hoja: 03/03

Referencias

- Dominio de Modelación
- Ubicación - Fallecidos
- Vías Principales - La Plata

Situación Actual - Ponderada

Profundidades [m]

- 0,30 - 0,60
- 0,60 - 1,05
- 1,05 - 1,65
- > 1,65

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Camer*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Profundidades
Situación Actual - Pronderada**

Mapa: **00** Hoja: **00/08**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Ubicación - Fallecidos
- Vías Principales - La Plata

Situación Actual - Ponderada

Severidad

	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
0	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Severidades
Situación Actual - Pronderada

Mapa: 00 Hoja: 00/08

Referencias

- Dominio de Modelación
- Ubicación - Fallecidos
- Vías Principales - La Plata

Situación Actual Ponderada a 10 Años

Profundidades [m]

- 0,30 - 0,60
- 0,60 - 1,05
- 1,05 - 1,65
- > 1,65

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA
Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista:
Director de Tesis:

Ing. José Luis Camer
Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa:

Mapa de Profundidades
Situación Actual - Ponderación a 10 Años

Mapa: 00

Hoja: 00/08

Referencias

- Dominio de Modelación
- Ubicación - Fallecidos
- Vías Principales - La Plata

Situación Actual Ponderada a 10 Años

Severidad

	S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
	Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
0	No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Severidades
Situación Actual - Ponderada a 10 años

Mapa: 00 Hoja: 00/08

Referencias

- Dominio de Modelación
- Ubicación - Fallecidos
- Vías Principales - La Plata

Situación Actual Ponderada a 20 Años
Profundidades [m]

- 0,30 - 0,60
- 0,60 - 1,05
- 1,05 - 1,65
- > 1,65

MAESTRÍA EN
ecohidrología

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: *Ing. José Luis Carner*
Director de Tesis: *Dr. Juan Manuel Galíndez*

Mapa: **Mapa de Profundidades**
Situación Actual - Ponderada a 20 años

Mapa: **00** Hoja: **00/08**

Referencias

- Dominio de Modelación
- Ubicación - Fallecidos
- Vías Principales - La Plata

Situación Actual Ponderada a 20 Años

Severidad

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

S 0	S 1	S 2	S 3	S 4
Baja	Leve	Media	Elevada	Extrema
No se esperan víctimas.	Dificultad para caminar.	Pérdida de estabilidad, personas y vehículos.	Riesgo Alto personas en el exterior.	Daños a edificios.

MAESTRÍA EN
ecohidrología

ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Cuenca Urbana Arroyo del Gato

Tesista: Ing. José Luis Carner
Director de Tesis: Dr. Juan Manuel Galíndez

Mapa: Mapa de Severidades
Situación Actual - Ponderada a 20 años

Mapa: 00 Hoja: 00/08

REFERENCIAS

- ADR, A. I. (2017). *Flood Hazard - Disaster Resilience Handbook 7 Managing the Floodplain*. Commonwealth of Australia 2017 second edition.
- Arévalo Uribe, D., Zárate Torres, E., Fernández Poulussen, A., & Kuiper, D. (2017). *Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica*. Unión Europea / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura / Good Staff International. San José de Costa Rica: Creative Commons CC-BY-SA 3.0 IGO. Recuperado el 2018, de <http://www.euroclima.iica.int>
- Bengoechea, V.; Giménez, J.C.; Bergman, L.A.; Devoto, G.; Picasso, J. (2003). *Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano*. Gobierno de Argentina y Banco Mundial.
- Cabral, M. e. (2006). *Análisis Ambiental del partido de La Plata*. (C. F. Inversiones, Ed.) Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Obtenido de www.sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27046
- Carner, J. L. (2014). "Asistencia Técnica al Proyecto de mejora integral del Ferrocarril General Roca, ramal Plaza Constitución - La Plata". Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires.
- Chow, V. T. (1988). *Hidrología Aplicada*. (j. Saldarriaga, Trad.) Mc Graw - Hill.
- DEFRA, D. f. (s.f.). *www.gov.uk*. Obtenido de www.gov.uk/topic/environmental-management/flooding-coastal-change.
- Departamento de Hidráulica - FI - UNLP. (2013). *Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada*.
- Engineers, U. A. (2015). Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>.
- Environmental Protection Agency. (2017). *SWMM Storm Water Management Model*. www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm.
- Environmental Protection Agency EPA. (2016). *LID controls*. <http://sudsostenible.com/ranking-de-eficacia-de-las-tecnicas-lid/>.
- EPA, A. d. (2018). *Modelo de Gestión de aguas pluviales (SWMM)*. Obtenido de www.epa.gov/water-research/sotrm-water-management-model-swmm: www.epa.gov
- Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara. (2011). *SUFRI Methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decision making*.
- Haines, D. P. (2012). *The Newcastle City-wide Floodplain Risk Management Study and Plan*. City of Newcastle: ABN 54 010 830 421 003.

- <http://sudsostenible.com/contaminantes-en-las-aguas-de-esorrentia-urbana/>. (2013). Obtenido de www.sudsostenible.com.
- Jonkman, S., & Penning-Rowsell, E. (2008). HUMAN INSTABILITY IN FLOOD FLOWS. *Journal of the American Water Resources Association*, 11.
- Liscia, S. e. (2013). *Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada*.
- López, I., & Etulain, J. (Diciembre de 2017). Inundaciones Urbanas. Mapas de Riesgo y Lineamientos de Ordenamiento Territorial. *Estudios del Hábitat*, 15 e030, 1-21. Obtenido de revistas.unlp.edu.ar/habitat
- Mignoty, M. (2015). *Estado Actual de gestión de Riesgo de inundación en el partido de La Plata*. Fundación Biósfera.
- Municipalidad de La Plata, C. D. (2015 2016). *Código de Ordenamiento Urbana - Ordenanza 10703*.
http://www.concejodeliberante.laplata.gov.ar/digesto/Cou/or10703_indice.asp.
- OEI, O. d. (s.f.). *Del Riesgo de Desastres a la Resiliencia*. Obtenido de www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/.
- Organización de Estados Iberoamericanos, O. (2018). *Del Riesgo de Desastres a la Resiliencia*. (B. García Cienfuegos, Ed.) Obtenido de www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/.
- Plata, M. d. (2011 - 2012). *Código de Ordenamiento Urbano - Ordenanza 10703*. Obtenido de Concejo Deliberante de la Municipalidad de La Plata:
http://www.concejodeliberante.laplata.gov.ar/digesto/Cou/or10703_indice.asp
- Project Management Institute, Inc. (2012). *Guía del PMBOK ISBN978-1-62825-009-1*. Newtown Square, Pensilvania, Pensilvania: Project Management Institute, Inc.
- Ribera Masgrau, L. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Doc. Anàl. Geogr.* 43, 153-171.
- Rivera, J. J. (2007). Maestría en transporte y Logística: "Metodología para la estimación del TMDA, mediante conteo de tránsito esporádicos". *UTN, Regional La Plata*.
- Rodríguez Díaz, H. A. (2013). *Drenaje Urbano. Elemento de diseño. Drenaje Urbano No Convencional*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Rodríguez Díaz, H. A. (2013). Incorporación de los sistemas de drenaje no Convencional en el drenaje urbano. En H. A. Rodríguez Díaz, *Drenaje Urbano - Elementos de Diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Romanazzi, P. (2015). APROXIMACION A LA ESTIMACION ESTADISTICA DE LA PRECIPITACION, UIDET Hidrología. *3ras Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión. Facultad de Ingeniería - UNLP*, 452-458.
- Romanazzi, P. C., & Angheben, E. (2016). *Seguimiento de las Obras Hidráulicas de la Región Capital*.

- Romanazzi, P. e. (2019). "*Plan de Reducción del Riesgo de Inundaciones en la región de La Plata (RRI La Plata) - Informe N 2 - Versión C. UIDET Hidrología - UNLP - FI - DH.*
- Romanazzi, P., Carner, J., & Angheben, E. (2016). "*Seguimiento de las Obras Hidráulicas de la Región Capital*". *Informe Trimestral 001; CST-PBA. Comisión Bicameral.*
- Romanazzi, P.; Urbiztondo, J. (2007). *Estudios Hidrológicos – Hidráulicos – Ambientales en la Cuenca del Arroyo del Gato.* Laboratorio de Hidrología - Departamento de Hidráulica - F.I. - UNLP.
- Romanazzi, Pablo; Carner, José; Molina, Marcelo; Rojas, javier; Vahnovan, Pablo. (2005). *Estudios Hidrológicos - Hidráulicos - Ambientales en la cuenca del Arroyo del Gato.*
- Ronco, A.; López, I. (2016). *Inundaciones por lluvia en el sur de la Región Metropolitana de Buenos Aires.* Espacio Editorial.
- Sabbione, N. -U. (2013). *Evento pluvial del 2 y 3 de abril de 2013.*
- Terraza, H., Rubio Blanco, D., & Vera, F. (2016). *De Ciudades Emergentes a Ciudades Sostenibles.* (P. U. Chile, Ed.) Santiago de Chile: Ediciones ARQ.
- Tucci, C. (2006). *Gestión de Inundaciones Urbanas.* OMM. Obtenido de www.apfm.info/pdf/Urban_Flood_Management_Es_low.pdf
- US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. (2015). *River Analysis System.* www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/.
- Wikipedia. (2013). *Inundación de La Plata en 2013.*
https://es.wikipedia.org/wiki/Inundación_en_La_Plata_de_2013.
- wikipedia. (s.f.). https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_dormitorio.
- Woods Ballard, B., Wilson, Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2016). *The SuDS Manual.* London: CIRIA. British Library Cataloguing in Publication Data.

ANEXOS

ANEXO 1

PRECIPITACIONES

A.1 PRECIPITACIONES

A.1.1 INTRODUCCIÓN

El estudio y análisis de las precipitaciones que pueden ocurrir sobre la ciudad de La Plata, y que servirán para el diseño de las obras de drenaje, tienen su base en los datos registrados en la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional en Villa Ortúzar. De los registros de datos existentes, se realizaron curvas de Intensidad – Duración – Recurrencia y a partir de éstos, se adoptó, dado que el clima tanto de la ciudad de Buenos Aires como el de La Plata son semejantes, una ley para la ciudad de La Plata.

Existen diversos trabajos realizados sobre la misma base de datos y mencionaremos las leyes de lluvias adoptadas por la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires, las correspondientes leyes utilizadas por la Dirección de Infraestructura del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (ambas muy semejantes), las correcciones efectuadas por el Ing. Guillermo Serrano, y las adaptaciones realizadas para la ciudad de La Plata realizadas por los Ings. Pedro Picandet y Aníbal Barbero, de la Universidad Nacional de La Plata.

Posteriormente se consideran las leyes de lluvias intensas derivadas de la “Regionalización de las Lluvias Intensas en Argentina” –ver Apéndice 1 sobre los Estudios Hidrológicos y las Soluciones Estructurales del Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano – 2011, que sobre la misma base de datos y otras del SMN realizó un nuevo procesamiento de la información. (Bengoechea, V.; et al, 2003).

A.1.2 CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN LOS ESCENARIOS DE TORMENTA

A las características de los escenarios de tormenta se propuso definirlas de la siguiente manera para poder evaluar la amenaza como componente del riesgo. En todos los casos se consideraron tormentas intensas (de más de 50 mm/h), de corta duración (comprendida dentro del intervalo de un día) y de tipo convectivo (gran concentración espacial y de frecuente ocurrencia en períodos estivales) (Romanazzi, Carner, & Angheben, 2016).

- **Escenario I – Tormentas ordinarias:** de acuerdo con las estadísticas de volúmenes de precipitación diaria en la región del Gran La Plata, son aquellas tormentas que expresadas como lámina de agua acontecen en el rango de 50 a 100 mm, de mediana a baja intensidad y con duraciones que van desde 6 horas a 24 horas;
- **Escenario II – Tormentas extraordinarias:** son aquellas tormentas que también presentan volúmenes expresados como lámina de agua en el rango de 50 a 100 mm, de mediana a alta intensidad y con duraciones inferiores a las 6 horas;

- **Escenario III - Tormentas severas:** son aquellas que presentan intensidades altas a muy altas (mayores a 50 mm/h y llegando a superar los 100 mm/h) que se mantienen sin disminuir su tasa de aporte en intervalos que superan los 20 minutos y pueden llegar a las 3 horas de duración (tormenta de abril de 2013);
- **Escenario IV - Precipitación máxima probable (PMP):** es la estimación de la PMP para el gran La Plata elaborada para la región capital en función de la serie de máximos de precipitación diaria desde 1911 a la fecha (Romanazzi, 2014) y que fija un límite máximo de precipitación (en mm) para todo el rango horario hasta las 24 horas. En este trabajo se modelaron PMP de 6 h y de 12 h.

A.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS Y LAS LEYES DE LLUVIA A UTILIZAR

Se han propuesto para los estudios y planteos del Riesgo de Inundación escenarios que tienen en cuenta el carácter probabilístico de las lluvias que puedan precipitar sobre la zona urbana de la ciudad de La Plata. El agua precipitada constituye la amenaza asociada a las lluvias.

Los escenarios Tipo I corresponden a lluvias de larga duración, de 6 a 12 horas, del tipo de lluvias ordinarias, de baja intensidad. Para las modelaciones realizadas, se ha considerado a las lluvias de Recurrencia 2 años y de 3 horas de duración hasta las de 500 años y 6 horas de duración, para considerar al rango de volúmenes precipitados en las Tormentas Tipo II, especialmente por ser hietogramas sintéticos; aunque las recurrencias de 2 a 5 años podrían quedar comprendidas también dentro del Tipo I. Para las recurrencias más altas, los volúmenes precipitados excedan el límite indicado, según la ley de lluvias utilizada, aun así, todas las lluvias sintéticas analizadas quedarán comprendidas dentro del rango de Tormentas Tipo II.

Figura A.1-1.- Hietogramas de precipitación de Recurrencia = 2 años. Duración 3 horas.

Figura A.1-2.- Hietogramas de precipitación de Recurrencia = 500 años. Duración 6 horas.

Estas tormentas pueden determinarse a partir de leyes de lluvia Intensidad – Duración – Recurrencia (IDR), propuestas a partir de los registros pluviográficos de Villa Ortúzar. En particular distintos organismos y personas han realizados ajustes de estas leyes, siendo la ley utilizada la indicada por el Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, identificada como DiPSOH, que era así llamada la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hídricas; otra es la ley propuesta en el Manual para el Diseño de Planes Maestros para la mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbana (Bengoechea, V.; et al, 2003), en donde se propone aplicar los lineamientos dados por el Ing. Gustavo Devoto, en Regionalización de Lluvias Intensas. Las otras leyes de lluvia IDR aplicadas corresponden a la Dirección de Infraestructura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y a la propuesta por el Ing. Guillermo Serrano. Todas las leyes tienen una marcada semejanza.

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión CABA)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	52,75	70,01	82,59	94,45	112,06	124,45	129,50	144,88	201,11	267,20
6	64,25	84,01	100,12	117,19	135,94	150,17	157,73	176,46	279,52	327,40
12	77,73	99,85	120,42	144,60	163,58	179,60	190,84	213,49	388,51	370,40
24	93,73	118,10	144,28	177,92	196,02	213,83	230,11	257,43	540,00	392,20

Tabla A.1-1. Volúmenes de Precipitación en función de la duración de la tormenta. CABA.

DURACION [Hs]	RECURRENCIA (Expresión VALORES EXTREMOS)								PMP [mm]	2deAbril [mm]
	2 [mm]	5 [mm]	10 [mm]	25 [mm]	50 [mm]	100 [mm]	200 [mm]	500 [mm]		
3	38,52	49,70	57,05	66,29	73,11	79,84	86,52	95,29	201,11	267,20
6	44,70	57,76	66,37	77,22	85,25	93,19	101,08	111,46	279,52	327,40
12	51,65	66,80	76,81	89,43	98,78	108,05	117,26	117,26	388,51	370,40
24	59,53	77,03	88,61	103,22	114,05	124,78	135,47	149,56	540,00	392,20

Tabla A.1-2. Volúmenes de Precipitación en función de la duración de la tormenta. Valores Extremos.

En las Tablas A.1-1 y A.1-2, se presentan los volúmenes totales de precipitación para lluvias, para el rango de recurrencias estudiadas, en función de la ley de lluvias aplicada y de la duración de la tormenta. En cuanto al valor máximo del intervalo de precipitación de 5 minutos, la ley de valores extremos es mayor y da mayores volúmenes para todo el rango de recurrencias.

A mayor duración de la tormenta habrá mayor volumen de agua precipitado, pero en las modelaciones realizadas, y solo para algunas recurrencias, se vislumbran cambios en la peligrosidad de la cuenca, porque a partir de ciertas duraciones los conductos funcionan en mejores condiciones de escurrimiento y el mayor volumen precipitado no afecta al conjunto de la cuenca.

Figura A.1-3.- Volumen del máximo intervalo de los hietogramas de 5 minutos.

Para pasar de la leyes de lluvia de Intensidad a los hietogramas, que fue la forma de entrada de datos a los modelos matemáticos utilizados, se utilizó la metodología indicada en el libro de Hidrología Aplicada, (Chow, 1988), utilizando el método del bloque alterno y concentrando el pico del hietograma en el primer tercio de la duración de la tormenta.

Para la Dirección de Infraestructura de la ciudad autónoma de Buenos Aires, la ley utilizada es:

$$I_R(t) = \frac{A_R}{(t + B_R)^{C_R}}$$

donde los parámetros, en función de la recurrencia son:

Recurrencia [años]	A	B	C
2	821,4	6,8	0,735
5	1289,4	9,5	0,765
10	1360,6	7,8	,0745
20	1252,9	5,9	0,705
50	1848,9	8,2	0,745
100	2169,9	8,9	0,755

Tabla A.1-3. Parámetros para determinar la ley I-D-R CABA

La expresión adoptada por el Ministerio de Infraestructura de la provincia de Buenos Aires es:

$$I = A(d)^B - C$$

donde los parámetros responden a la siguiente tabla:

Recurrencia [años]	A	B	C
1,1	268,3	-0,549	5,3
1,5	315,4	-0,502	9,2
2	343,0	-0,481	12,0
3	376,0	-0,461	15,5
5	412,9	-0,442	19,8
10	459,9	-0,424	25,6
25	520,0	-0,405	33,5
50	564,9	-0,394	39,7
100	609,7	-0,384	46,1

Tabla A.1-4. Parámetros para determinar la ley I-D-R DPOH Pcia. Bs.As.

Con respecto a la ley de valores extremos, se ha trabajado con la expresión de 3 parámetros:

$$I = \frac{A}{t^B} + C$$

Los parámetros A, B y C se calculan en función de las medias X y los coeficientes de variación Cv, que figuran en mapas de Precipitaciones intensas para Duraciones de 1 horas y de 12 horas, páginas 569 a 572 del Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano, en el Apéndice 1, realizado por el Ing. Gustavo Devoto.

Los valores adoptados para la ciudad de La Plata son:

Valores Medios		Coeficiente de Variación	
X 1	35	Cv 1	0.31
X 12	74	Cv 12	0.28

Tabla A.1-5. Valores medios y Coeficientes de Variación para la ciudad de La Plata. Romanazzi 2016.

Los escenarios Tipo II están asociados a tormentas de 2 a 500 años. Presentan volúmenes de precipitación de 50 a 100 mm en duraciones menores de 6 horas, aunque los volúmenes difieren en función de la ley de lluvia utilizada. Para las modelaciones realizadas, se han considerado lluvias de Recurrencia 2, 5 y 10 años de 3 horas de duración y para el resto de las recurrencias analizadas, duraciones de 6 horas, con el fin de evaluar, además, una sensibilidad que se desprende del volumen total precipitado. Con estas pautas se consideraron todo el rango de volúmenes precipitados para las Tormentas Tipo II.

En varias etapas de este trabajo de tesis, se realizaron modelaciones variando la duración de la precipitación entre 3, 6 y 12 horas para cada uno de los escenarios de tormenta analizados. En todos los casos donde se percibió algún cambio relativo a la duración aplicada, y a la mayor presencia de volúmenes de agua, las recurrencias fueron de 25 años o mayores.

Si bien de las leyes de I-D-R se desprenden los hietogramas sintéticos distribuidos según el Método del Bloque Alternó, puede valorarse si los volúmenes totales o las intensidades tiene mayor peso sobre el riesgo. El planteo de cuál parámetro tiene mayor peso en un evento, sea la intensidad de la lluvia o sea el volumen de agua precipitada implica analizar las subcuencas afectadas. Analizando y complementando al Gráfico 126 de valores máximos precipitados en 5 minutos, podemos agregar los volúmenes de agua en lluvias de 3 horas. Según la ley analizada, que la lluvia tenga mayor intensidad no implica que precipite mayor volumen de agua. Se obtiene el siguiente gráfico:

Figura A.1-4.- Volúmenes de agua precipitados, para duraciones de 3 horas, según distintas leyes IDR.

Con respecto a las tormentas severas Tormentas Tipo III, son aquellas que han sido observadas, de variadas duraciones, pero con intensidades muy importantes, entre los 50 mm/hr y los 100 mm/hr y podemos citar aquéllas ocurridas los días 27 de enero de 2002, 11 de noviembre de 2003, 28 de febrero de 2008, y, por último, la correspondiente al 2 de abril de 2013. Son tormentas que han excedido la capacidad de drenaje proyectada para la red pluvial de la ciudad y nos determinan el valor de la amenaza a considerar en el estudio de los Riesgos de Inundación. Son lluvias observadas.

Figura A.1-5.- Evento pluvial del día 27 de enero de 2002. Total de agua precipitada = 123,4 mm.

Figura A.1-6.- Evento pluvial del día 11 de noviembre de 2003. Total de agua precipitada = 133,8 mm.

Figura A.1-7.- Evento pluvial de los días 28 y 29 de febrero de 2008. Total de agua precipitada = 167,0 mm hasta las 24:00 horas del día 28 de febrero y 240,0 mm acumulados hasta las 4:15 horas del día 29 de febrero de 2008.

La tormenta de los días 2 y 3 de abril de 2013 totalizó 392,1 mm durante las primeras 24 horas, en el pluviógrafo del Observatorio Astronómico de la UNLP. Pero la precipitación media sobre la cuenca total estudiada fue de 335,3 mm, debido a un abatimiento areal registrado en pluviógrafos como el correspondiente a la facultad de Agronomía, Estación Julio Hirschhorn, ubicada en la calle 66 y 168, de La Plata; los valores máximos registrados no fueron aplicados al total de la cuenca. La infiltración total resultante, en función de los suelos presentes en la cuenca, alcanzó a los 92,9 mm, y el excedente conducido a través de la red mayor y menor de drenaje fue de 242,1 mm (hubo agua retenida superficialmente en la cuenca).

Figura A.1-8.- Evento pluvial del día 2 de abril de 2013. Total de agua precipitada = 392,10 mm.

Y, por último, se debe analizar la lluvia máxima que pudiera acontecer, dadas las características climáticas y la cuenca, y sirve como envolvente máxima de las lluvias que puedan precipitar sobre la cuenca y corresponde a la denominada Precipitación Máxima Probable, determinada para la ciudad de la Plata. Ing. Romanazzi [2015]. Incluye a las Tormentas Tipo IV.

Figura A.1-9.- Ajuste realizado para la PMP en función de la duración. Ing. Romanazzi, P. (2015).

A.1.4 ESTUDIO DE LOS HIETOGRAMAS

Para definir los distintos escenarios posibles, y con el fin de modelar matemáticamente la cuenca, se utilizaron diferentes hietogramas, los cuales generaron diversas situaciones que sirvieron de base para determinar las amenazas propias a la misma cuenca.

Cuando se trata de hietogramas sintéticos, se aplicaron en toda la cuenca sin efectuar ningún tipo de atenuaciones localizadas, dado que responden a eventos posibles de ocurrir en cada subcuenca. En cuanto a las Tormentas Tipo III, como la lluvia del día 2 de abril de 2013, se realizó una distribución areal en función de diversos registros sobre la cuenca, dado que se tuvo conocimiento de cómo fue dicha distribución, y las consecuencias.

La confección de cada uno de los hietogramas se realiza siguiendo los lineamientos planteados en el Libro de Hidrología Aplicada, (Chow, 1988), y propuestos en el Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y Gestión del Drenaje Urbano, (Bengoechea, V.; et al, 2003).

Estos procedimientos se conocen como Método Chicago o de la Intensidad Instantánea, semejante al método del bloque alterno y en especial considera que la intensidad de la precipitación varía en forma continua a través de la duración de la tormenta. Se establece que el valor máximo o bloque máximo de precipitación se encuentra ubicado en el primer tercio de la duración de la lluvia, por lo que, para el caso de tormentas de 3 horas de duración, ubicaremos su pico a los 60 minutos de ocurrido el inicio de la tormenta.

A.1.5 CONSECUENCIAS DERIVADAS DEL EVENTO DE LOS DÍAS 2 Y 3 DE ABRIL DE 2013

A.1.5.1 INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN PRECEDENTE

El tiempo, la cantidad de agua precipitada, la distribución y, en consecuencia, la intensidad fue de características inusitadas.

Precipitaron 392,10 mm en 24 horas, de los cuales 181,0 mm cayeron entre las 18 y las 21 horas, lo cual permite interpretar que no solo el volumen de agua fue muy importante sino también la intensidad concentrada de la precipitación (Sabbione, 2013).

A.1.5.2 CONSECUENCIAS DEL EVENTO PLUVIAL EN LAS CUENCAS URBANAS

Oficialmente hubo que lamentar 89 víctimas fatales.

Además, hubo 2.200 evacuados, 190.000 personas afectadas, 70.000 viviendas inundadas, 40.000 autos siniestrados, y daños estimados, publicados, entre los 500 y 700 millones de dólares. 3.500 hectáreas del casco urbano (cuencas de los arroyos del Gato y Maldonado) resultaron inundadas. Intervinieron 1.200 efectivos del Ejército Argentino que se sumaron a las fuerzas vivas de Defensa Civil y de las propias de los municipios. (Mignoty, 2015).

Como dato adicional, este fenómeno ocurrió durante un fin de semana que incluyó los feriados de Semana Santa, jueves 28 y viernes 29 de marzo junto con el feriado nacional del martes 2 de abril correspondiente a la conmemoración de los caídos en la guerra de las Islas Malvinas. El 1 de abril fue declarado feriado puente. Por lo tanto, el feriado, administrativo para la ciudad capital de la provincia, generó un éxodo significativo de habitantes de la ciudad hacia centros de turismo y/o ciudades del interior sumado también su carácter de ciudad universitaria.

A.1.6 COMENTARIOS FINALES SOBRE LAS PRECIPITACIONES

Si observamos la cantidad de agua precipitada, en promedio para cada mes, y a su vez comparamos las medias mensuales con los volúmenes de las lluvias sintéticas, podemos observar que el promedio correspondiente al mes de junio, julio o agosto, es del orden de los 62 a 66 mm mensuales; valor semejante corresponde a la precipitación sintética de recurrencia 2 años y duración 3 horas.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual
LA PLATA Observatorio (mm)	100,5	99,3	112,8	96,4	81,2	62,3	66,9	66,2	78,0	95,3	95,8	92,8	1047,4
LA PLATA AE Precipitación (mm)	108,8	114,3	124,5	86,8	79,3	52,6	61,4	61,3	69,8	110,6	103,9	95,2	1068,5
Periodo 1981-1990	115,7	107,9	140,2	70,1	88,6	37,5	47,5	61,4	79,1	126,6	118,1	99,9	1092,6

Tabla A.1-6. Precipitaciones en la ciudad de La Plata. FCAyG – UNLP

La precipitación media del mes de enero es semejante al volumen correspondiente a la lluvia sintética de recurrencia 10 años y 3 horas de duración. Y la precipitación correspondiente al mes de marzo es semejante a la lluvia sintética de recurrencia 25 años y 6 horas de duración.

En otras palabras, las lluvias sintéticas, comprendidas dentro de las Tormentas Tipo II, tienen capacidad de precipitar, en una tormenta, volúmenes semejantes o superiores a la media de algunos meses determinados, y para valores de recurrencia del orden de 50 años o superior, los volúmenes modelados superan a varios meses medios sumados; como la de recurrencia 100 años que corresponde a la suma de agosto y septiembre en una sola tormenta.

Figura A.1-11. Precipitaciones medias mensuales para la ciudad de La Plata. Fuente: FCAyG - UNLP

Figura A.1-12. Volúmenes de precipitación de las lluvias sintéticas modeladas + 2 de abril de 2013 + PMP.

ANEXO 2

MODELOS MATEMÁTICOS

A.2 MODELOS MATEMÁTICOS

A.2.1 INTRODUCCIÓN AL MODELO SWMM

El software Storm Water Management Model fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU., con el fin gestionar las aguas pluviales, ayudando a la planificación, al análisis y al diseño de los sistemas de saneamiento. Permite trabajar con sistemas verdes o de bajo impacto. Persigue prestar apoyo en la reducción del escurrimiento a través de la infiltración y retención. Actualmente la versión vigente es la SWMM 5.1.013. (Environmental Protection Agency, 2017).

Permite simular eventos únicos o a largo plazo, principalmente en áreas urbanas. En este trabajo se utilizaron lluvias puntuales y variables, de corta duración, hasta 24 horas, pero permite trabajar con registros largos.

Consta de un modelo hidráulico, para estudiar la escorrentía de las redes planteadas, consistentes en tuberías (amplia gama de secciones), canales, almacenamientos, presas, orificios y bombas. El escurrimiento puede ser libremente descrito a través de formulaciones de la onda dinámica o cinemática. También permite vincular la escorrentía con los acuíferos, agua subterránea, infiltración, evaporación desde cuerpos, etc.; y condiciones de calidad de aguas.

En los procesos hidrológicos el modelo permite contabilizar precipitaciones variables, por volumen, por precipitación acumulada o por intensidad, considerar la nieve y su deshielo, almacenamiento en depresiones, infiltración y su tasa, para suelos no saturados y embalses.

También permite modelar la carga de contaminantes a través de la red de drenaje, acumulaciones en tiempo seco, sistemas unitarios y reducciones de la carga a través de las tuberías o los procesos verdes.

En su última versión, no utilizada en este trabajo, permite ajustar el clima a través de parámetros derivados del Programa Mundial de Investigación sobre el clima, con lo cual el modelo puede ajustar mensualmente dichos cambios potenciales. (EPA, 2018).

A.2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para conformar el modelo matemático, se inició con la carga de datos de la red menor (conducciones), para lo cual se accedió, durante largo tiempo y con ayuda de la Municipalidad de La Plata, a cada uno de los conductos troncales, sobre los que se determinaron las tapadas de conductos, pendiente y dimensiones. Además, se realizó un relevamiento específico para determinar la cantidad de sumideros –bocas de tormenta- en cantidad y longitud, en cada nodo o esquina de las cuencas analizadas. Con datos topográficos del terreno natural, en cada una de las esquinas urbanas, se determinó la cota real de los conductos.

Se trabajó sobre los conductos troncales y derivadores, cuya información fue suministrada tanto por la Municipalidad de La Plata como por el Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, con planos disponibles en diversos formatos.

Figura A.2-1. Captura de Pantalla del Modelo Matemático SWMM.

La red mayor de drenaje (calles y avenidas) fue trazada sobre 5800 nodos, que permitieron modelar cerca de 12800 calles, avenidas, diagonales, etc. Por esta red se generó el primer escurrimiento de las 5515 cuencas urbanas. Estas cuencas generaron el aporte de las parcelas urbanas a cada esquina (nodo superficial). Por su parte, la red menor de drenaje implicó considerar una cantidad de 1840 nodos para el trazado de la misma (conductos troncales, arroyos y resto del drenaje). Y la vinculación entre la red mayor y menor de drenaje se materializó en el modelo, mediante la colocación de bocas de tormenta y alcantarillas, simuladas como vertederos, tanto transversales como laterales. Se materializaron 1415 nodos de esquinas de vinculación, indicados por la longitud total de vertederos concurrentes a dichos nodos (algunos nodos de estos tuvieron 8 sumideros por esquina de longitudes variables).

Sobre estas cuencas así determinadas, se simularon las tormentas descritas, y se analizaron los resultados a través de distintos medios: reportes, hidrogramas y perfiles longitudinales de conducciones.

Se generó un modelo matemático para la situación existente al año 2013, otro para la situación actual, y otros según las propuestas de obras estructurales analizadas, en particular uno para considerar los reservorios y otro para considerar los túneles.

Con respecto a la tormenta del año 2013, analizada su distribución sobre la cuenca, se modeló el evento y se analizaron los resultados obtenidos que fueron contrastados con los relevamientos efectuados a partir de la inundación, en particular por docentes del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería. Si bien estos eventos de gran magnitud, que generan inundaciones, no son los más indicados para verificar y validar los modelos matemáticos, se puede decir que los modelos representaron bien las consecuencias del fenómeno meteorológico. En particular las

cotas de niveles de agua alcanzados, en la parte baja de la cuenca, zona de Tolosa, y los valores de la curva de remanso generada y relevada. Para antecedentes de lluvias de menor intensidad y volumen de agua precipitado, registradas en la cuenca, la representación hidrodinámica de la red menor de drenaje fue muy acertada.

Luego, para cada una de las fases estudiadas, se obtuvo un modelo matemático específico que fue estudiado con cada una de las tormentas sintéticas propuestas, en función de su probabilidad.

La cuenca del arroyo del Gato, estudiada, tuvo como límites físicos al arroyo propiamente dicho, por el sector Norte y Noroeste. Hacia el Este el límite lo brindó el cordón continental, que corresponde a un desnivel natural formado entre la planicie continental y la planicie costera del Río de La Plata, de altura variable, pero con un cambio muy significativo de la pendiente. Por la zona Sur, Sureste el límite lo dio la cuenca del arroyo Maldonado, que fue incluida en la modelación matemática para captar los derrames superficiales excedentes. Finalmente, por la zona Sur y Suroeste, el límite físico considerado fue el límite natural de la cuenca.

A.2.1.2 DATOS DE ENTRADA

La carga de datos comienza principalmente en los conductos y sus cuencas. A modo de ejemplo, se puede comenzar con los datos de las cuencas de aporte a los nodos con sumideros, para lo cual es necesario conocer la ubicación, cotas, distancias, superficies de las cuencas de aporte y datos adicionales como el ancho medio de la cuenca y su pendiente. Cuando la información faltante no era completa se debieron estimar o calcularlos.

CUENCA CALLE 7 desde CALLE 43 A CALLE 32							
NODO	AREA	AREA	LONGITUD	"w"	COTAS		i
	[m2]	[Ha]			MAYOR	MENOR	
7y44	5922,21	0,592	202	29,32	15,12	12,93	1,0842
7y43	5043,18	0,504	145	34,78	15,12	13,30	1,2552
7y42	31579,4	3,158	290	108,89	16,00	13,00	1,0345
7y41	67447,9	6,745	420	160,59	16,00	11,75	1,0119
7y40	23382,14	2,338	215	108,75	13,15	10,65	1,1628
7y39	33775,63	3,378	275	122,82	14,67	10,12	1,6545
7yPlazaSur	8568,24	0,857	160	53,55	12,82	9,58	2,0250
7yPlaza	3964,41	0,396	75	52,86	9,58	9,35	0,3067
7yPlazaNorte	30379,91	3,038	365	83,23	13,88	9,14	1,2986
7y37	14377,05	1,438	140	102,69	10,78	9,06	1,2286
7y36	29024,71	2,902	430	67,50	12,51	8,39	0,9581
7y35	70751,62	7,075	715	98,95	13,88	7,91	0,8350
7y34	20851,88	2,085	135	154,46	8,06	7,30	0,5630
7y33	69882,2	6,988	565	123,69	10,87	6,72	0,7345
7y32	21389,48	2,139	150	142,60	6,72	6,24	0,3200
6y32	23833,58	2,383	270	88,27	8,69	6,35	0,8667
8y32	19319,23	1,932	145	133,24	6,24	5,99	0,1724

Tabla A.2-1. Datos de cuencas y superficies para el conducto de calle 7, desde Plaza Italia a 7 y 32.

Luego se continúa con los datos de los conductos ubicados en la zona, principalmente aquellos que aportan al tramo en estudio. Para este cometido se deben relevar o calcular en forma indirecta, las cotas de fondo de los conductos en cada nodo,

su altura, la máxima sobrecarga hidráulica que puedan tener, y las secciones de los nodos, muchas veces representadas por las cámaras de acceso.

CUENCA CALLE 7 desde CALLE 43 A CALLE 32				
NODO	COTA FONDO	ALTURA [m]	ALTURA SOBRECARGA	SUPERFICIE [m2]
7y44	11,53	1,40	2,00	0,10
7y43	11,09	2,21	2,00	0,10
7y42	10,41	2,59	2,00	0,10
7y41	9,74	2,02	2,00	0,10
7y40	9,06	1,59	2,00	0,10
7y39	8,37	1,75	2,00	0,10
7yPlazaSur	8,05	1,53	2,00	0,10
7yPlaza	7,71	1,99	2,00	0,10
7yPlazaNorte	7,37	1,77	2,00	0,10
7y37	6,98	2,08	2,00	0,10
7y36	6,34	2,05	2,00	0,10
7y35	5,62	2,29	2,00	0,10
7y34	4,70	2,60	2,00	0,10
7y33	4,19	2,53	2,00	0,10
7y32	3,68	2,56	2,00	0,10
SALIDA	2,99			
6y32	4,39	1,96	2,00	0,10
8y32	4,37	1,62	2,00	0,10

Tabla A.2-2. Datos de los conductos bajo calle 7 desde Plaza Italia, calle 44, a calle 32.

Finalmente se determina o completa la información con el vínculo superficial y los conductos, dado que los sumideros tienen capacidad limitada de transferencia: el resto del agua, si no existe capacidad de derivación, continuará su escurrimiento por superficie. Para cumplir con este requisito se realizó, a través de relevamientos de campo y ayuda de información digital, una documentación de todos los sumideros existentes en la cuenca, en ubicación y longitud.

Para el caso particular de los conductos que se han mencionado, los correspondientes al ramal de calle 7 desde calle 43 a calle 32, se acompaña la forma de la sección, y sus dimensiones.

CONDUCTOS CALLE 7 desde CALLE 43 A CALLE 32						
NODO	FORMA	DIMENSION [m]	DIMENSION [m]	LONGITUD [m]	OUTLET OFFSET	INLET OFFSET
7y44	CIRCULAR	1,00		140,00		
7y43	CIRCULAR	1,00		140,00		
7y42	CIRCULAR	1,00		140,00		
7y41	CIRCULAR	1,00		140,00		
7y40	CIRCULAR	1,00		140,00	0,03	0,00
7y39	ARCO	1,03	1,56	70,00		
7yPlazaSur	ARCO	1,03	1,56	75,00		
7yPlaza	ARCO	1,03	1,56	75,00		
7yPlazaNorte	ARCO	1,03	1,56	70,00	0,07	0,00
7y37	ARCO	1,10	1,74	140,00		
7y36	ARCO	1,10	1,74	140,00		
7y35	ARCO	1,10	1,74	140,00	0,20	0,00
7y34	ARCO	1,30	2,00	140,00		
7y33	ARCO	1,30	2,00	140,00		
7y32	ARCO	1,30	2,00	140,00		
6y32	CIRCULAR	0,60		140,00		
8y32	CIRCULAR	0,60		140,00	0,44	0,00

Tabla A.2-3. Dimensiones de los conductos bajo calle 7, desde calle 43 a calle 32.

Figura A.2-2. Perfil longitudinal del ramal de calle 7, desde calle 43 a calle 32.

El perfil longitudinal de mismo muestra los cambios de sección, diferencias topográficas y ubicación del terreno natural (calles).

Luego, al realizar el modelado matemático, se puede apreciar con qué lluvias (su probabilidad) el agua de los conductos adquiere energía que le permita anegar el terreno.

Figura A.2-3. Esquema de funcionamiento para una tormenta determinada.

De la misma manera se puede analizar el agua en calles.


```
[TITLE]
Example 1

[OPTIONS]
FLOW_UNITS          CFS
INFILTRATION         HORTON
FLOW_ROUTING         KW
START_DATE           01/01/1998
START_TIME           00:00:00
REPORT_START_DATE    01/01/1998
REPORT_START_TIME    00:00:00
END_DATE             01/02/1998
END_TIME             12:00:00
DRY_DAYS             5
WET_STEP             00:15:00
DRY_STEP             01:00:00
ROUTING_STEP         00:01:00
REPORT_STEP          01:00:00
ALLOW_PONDING        NO
INERTIAL_DAMPING      PARTIAL
VARIABLE_STEP        0.75
LENGTHENING_STEP    0
MIN_SURFAREA         0
COMPATIBILITY         5

[RAINGAGES]
::
:: Name          Rain Type    Recd.  Snow  Data  Source      Station  Rain
::              Units      Freq.  Catch Source Name    ID        Units
::-----
RG1              INTENSITY 1:00    1.0    TIMESERIES TS1

[SUBCATCHMENTS]
::
:: Name          Raingage      Outlet      Total  Pcnt.  width  Pcnt.
::              Area          Area      Imperv  Slope
::-----
1              RG1              9          10      50     500    0.01
2              RG1              10         10      50     500    0.01
3              RG1              13         5       50     500    0.01
4              RG1              22         5       50     500    0.01
5              RG1              15         15      50     500    0.01
6              RG1              23         12      10     500    0.01
7              RG1              19         4       10     500    0.01
8              RG1              18         10      10     500    0.01

[SUBAREAS]
::
:: Subcatchment  N-Imperv  N-Perv  S-Imperv  S-Perv  PctZero  RouteTo  PctF
::-----
1              0.001    0.10   0.05     0.05    25       OUTLET   0.0
2              0.001    0.10   0.05     0.05    25       OUTLET   0.0
```

Figura A.2-4. Formato de texto de los datos de ingreso al modelo matemático. Archivo .inp.

La carga de datos se puede realizar desde la pantalla del software o también a través de un archivo de texto con un formato predeterminado.

Resultó interesante la correspondencia entre el funcionamiento a presión de los conductos, el valor de la energía piezométrica en el mismo, y el aumento del tirante de agua en las calles sobre los conductos en dicha condición de funcionamiento hidrodinámico.

A.2.1.3 DATOS DE SALIDA

Los datos de salida se analizaron a través del reporte, donde además de presentarse el balance hídrico, indica los máximos caudales, velocidades y alturas de agua en nodos y conductos, su condición de escurrimientos y una serie de parámetros hidráulicos e hidrológicos que permiten conocer el funcionamiento completo de las redes, mayor y menor, de drenaje.

También arroja los valores máximos de velocidad, caudal y tirantes de agua.

Figura 0-5. Formato de texto de los resultados. Archivos .rpt.

El resto de las salidas son como las mostradas en los resultados de las modelaciones. En cada elemento del modelo se puede determinar todos los resultados posibles (velocidad, tirante, caudal, capacidad, etc.) en el tiempo modelado.

A.2.2 INTRODUCCIÓN AL MODELO HEC-RAS

El software HEC-RAS fue desarrollado por la US Army Corps of Engineers, de los EE.UU. (Engineers, 2015), con el fin de describir los fenómenos que experimenta el agua en su escurrimientos por cursos naturales o artificiales, en particular el arroyo del Gato, en su condición anterior y actual.

Caracteriza las relaciones entre el caudal, su velocidad, su tirante de agua, la sección de escurrimiento y el tiempo. Es un modelo unidireccional, y asume un escurrimiento paralelo a la traza del cauce y una velocidad promedio en su sección transversal.

El régimen de escurrimiento puede ser uniforme, gradualmente variado o fuertemente variado, en función de los cambios en la geometría de las secciones transversales a los cursos de agua o a la presencia de obras de arte, como son los puentes.

Y permite realizar la modelación en régimen permanente o impermanente, correspondiendo al primer caso, la modelación con el máximo caudal de agua erogado de la cuenca alta y de cada uno de los derivadores y/o troncales que desaguan al curso de agua; el segundo caso, de régimen impermanente, el dato de entrada corresponde al hidrograma presente en cada punto de estudio.

A partir del año 2016 está disponible la versión 5 de este software que permite hacer simulaciones del tipo cuasi bidimensionales.

A.2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Para conformar el modelo matemático, se inició con la carga de datos de las secciones transversales del arroyo del Gato, y la distancia entre estas. También se cargan las distancias entre secciones, considerando los cambios de alineación a través de las distancias de las márgenes.

Posteriormente se cargan los datos de las estructuras y obras de arte, requiriendo la carga adicional de secciones próximas a estas, con el fin de poder realizar las contracciones y expansiones del escurrimiento, y las pérdidas de carga asociadas.

Luego se carga la información del flujo, en particular los datos del caudal, sea constante o a través de hidrogramas.

Se adoptan condiciones de escurrimientos y se establece cómo se realizarán las simulaciones.

A.2.2.2 DATOS DE ENTRADA

La carga de datos comienza principalmente en las secciones transversales, datos de rugosidad y delimitación de las zonas del canal y de las planicies de inundación.

Figura A.2-6. Sección canalizada de Tolosa. Situación actual. Tramo medio.

Entre el evento del año 2013 (Fase 1) y la Situación actual (Fase 2), se canalizó todo el arroyo, desde la zona urbana hasta la desembocadura. Parte de la obra se realizó en hormigón armado, de secciones rectangulares variables en dimensión, y aguas abajo del casco urbano, continuó con el perfilado de una canal trapecial. Esta modelación requirió, por lo tanto, una modelación en la situación anterior, con un cauce irregular, y otra, con las obras ejecutadas. Por necesidades propias de la modelación de puentes, que se han modelado en un total de 11, se requirieron agregar secciones a los efectos de la modelación, por lo que fue necesario introducir, en total, 152 secciones transversales, en promedio cada 50 m, contemplando planicies de inundación del orden de los 800 a 1000 metros de ancho, con el fin de poder representar y compatibilizar el escurrimiento paralelo al cauce en las planicies de inundación, parte de las cuales corresponden a zonas urbanizadas.

La carga de datos comienza principalmente en las secciones transversales, datos de rugosidad y delimitación de las zonas del canal y de las planicies de inundación.

Figura A.2-7. Sección canalizada del arroyo del gato. Situación actual. Tramo superior.

Se introducen las obras de arte en su ubicación relativa a las secciones, orientación, ancho del tablero, pilas, coeficientes de contracción / expansión y datos sobre los terraplenes de acceso.

Luego se organizan las modelaciones a realizar a través de planes, en este estudio, relacionados con las recurrencias, y se introducen los caudales en la ubicación de cada uno de los derivadores y troncales, de manera de ir considerando los caudales crecientes.

Figura A.2-8. Puentes modelados con el HEC-RAS.

A.2.2.3 DATOS DE SALIDA

Los resultados obtenidos nos permiten tener los niveles de agua, en todo el ancho de la sección, del escurrimiento paralelo al cauce.

Si bien en la zona de Tolosa el resultado a relevar de estos modelos fue el nivel sobre la planicie, al ser los caudales modelados datos de las salidas del modelo SWMM, hubo coincidencia en los niveles relativos a las secciones de interés, por lo que, a pesar del déficit de información de secciones transversales específicas, relevadas para este modelo, con el parcelamiento urbano y viviendas, que, en definitiva, condicionan al escurrimiento paralelo, se obtuvieron resultados semejantes, dentro de un error razonable.

Figura A.2-9. Perfiles longitudinales para distintas características de los escurrimientos.

Figura A.2-10. Perspectiva de los resultados para determinada recurrencia.

También se pueden extraer datos en forma de tabla que dan información sobre las secciones, las características del escurrimiento, niveles, velocidades, etc.

File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: Plan 07 River: Arroyo del Gato												
Reach	River Sta	Profile	E.G. Elev (m)	W.S. Elev (m)	Vel Head (m)	Frctn Loss (m)	C & E Loss (m)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Top Width (m)	
Principal B	7957.91	R10 6h	4.00	3.84	0.16	0.06	0.00	0.05	178.89	1.93	83.19	
Principal B	7850.27	R10 6h	3.94	3.78	0.16	0.02	0.01		180.86	0.00	33.22	
Principal B	7817.75	R10 6h	3.92	3.78	0.14	0.00	0.01		180.86		38.29	
Principal B	7812.27	R10 6h	3.91	3.80	0.11	0.00	0.00		180.86		46.73	
Principal B	7799.27		Bridge									
Principal B	7785.77	R10 6h		3.89	3.78	0.11	0.00	0.01		180.86		46.54
Principal B	7776.46	R10 6h	3.88	3.80	0.08	0.01	0.01	4.87	175.99		144.67	
Principal B	7742.97	R10 6h	3.86	3.69	0.17	0.09	0.00	1.78	179.03	0.05	120.25	
Principal B	7500	R10 6h	3.77	3.57	0.19	0.09	0.04	0.58	180.28		123.56	
Principal B	7275.64	R10 6h	3.63	3.57	0.07	0.01	0.01	9.41	152.51	18.94	397.00	
Principal B	7247.66	R10 6h	3.62	3.59	0.03	0.00	0.00	6.87	160.13	13.86	523.03	
Principal B	7239.46	R10 6h	3.62	3.58	0.04	0.00	0.00	8.88	156.74	15.24	568.70	
Principal B	7236.71		Bridge									
Principal B	7233.96	R10 6h		3.61	3.57	0.04	0.00	0.00	8.72	157.13	15.00	566.65
Principal B	7224.03	R10 6h	3.61	3.58	0.03	0.00	0.01	7.19	159.43	14.23	559.32	
Principal B	7031		Bridge									
Principal B	7002	R10 6h		3.51	3.42	0.09	0.00	0.01	3.01	165.19	12.66	116.23
Principal B	6991	R10 6h	3.50	3.43	0.07	0.01	0.00	1.68	172.20	6.98	116.23	
Principal B	6064	R10 6h	3.40	3.47	0.07	0.01	0.00	1.67	170.76	8.40	94.15	
Energy gradline for given WSEL.												

Figura A.2-11. Captura de Pantalla con Tabla de resultados

ANEXO 3

METODOLOGÍA S.U.F.R.I.

Strategies of Urban Flood Risk Management

A.3 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL RIESGO SOCIAL Y ECONÓMICO

A.3.1 INTRODUCCIÓN AL SUFRI

La definición y estudio de las Estrategias sustentables para el Riesgo de Inundaciones Urbanas es un proyecto de seis entidades de cuatro países, Austria, Alemania, Italia y España. Entre ellas la Universitat Politècnica de Valencia.

El objetivo principal radicó en la mejora de la Gestión del Riesgo de inundación mediante la implementación de medidas no estructurales, básicamente en sistemas avanzados de aviso, análisis de vulnerabilidades y la comunicación del riesgo para la gestión y control de desastres. (Escuder Bueno, Ignacio; Morales Torres, Adrián; Castillo Rodríguez, Jesica; Perales Momparler, Sara, 2011).

El documento presenta una serie de procesos a seguir para el análisis del riesgo de inundación en zonas urbanas, procesos lógicos que incluyen desde la definición del ámbito de estudio, estudio del sistema actual como caso base. Realizan luego análisis de escenarios de inundación, y trabajan sobre la arquitectura del modelo de riesgo. Se pasa por el cálculo del riesgo, se lo representa en función de la probabilidad de cada escenario y finalmente se evalúa al riesgo.

Estos procesos son coincidentes con el trabajo de tesis desarrollado, con la salvedad que este trabajo incluyó el antecedente del año 2013, la situación actual y propuestas.

A.3.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE INUNDACIÓN PLUVIAL

En general la metodología describe en forma discriminada la inundación fluvial de la pluvial dado que el desborde de ríos, la ocupación de la planicie y las actividades que se desarrollan sobre ellas conlleva diferentes riesgos sociales -tasas de mortalidad diferenciadas-, siendo mayores en las inundaciones fluviales, y en particular de grandes ríos.

Las inundaciones en ciudades y calles no suelen alcanzar los calados próximos a los ríos, aunque las velocidades pueden ser elevadas, en particular en calles con muchas pendientes y eventos de precipitación severos.

El primer paso consiste en determinar el ámbito de estudio circunscripto a las ciudades, sus calles, morfología, subcuencas, pendientes, cotas y datos sobre impermeabilidad, usos del suelo, ordenamiento territorial y otros.

Luego se requiere el análisis de sistema de drenaje, con sus sistemas de captación, y de existir, estructuras de detención / retención, elementos de evacuación, y otros.

Además, se deben conocer los antecedentes que existan de inundaciones previas, estado de la cuenca y los registros.

El segundo paso incluye analizar a los Núcleos Humanos (en general puede ser una sola población o más de una), las Categorías de Tiempo relacionadas con las variaciones de la población en forma estacional, diaria que puedan influir en el riesgo según cuando suceda. Se determinan diferentes densidades de ocupación en función de los Usos del Suelo.

En definitiva, se debe distinguir entre la población que puede verse afectada en un determinado lugar, según su ubicación en la cuenca y según el momento en que pueda suceder.

Luego, en un tercer paso, se define la situación actual como base.

Posteriormente se analizan los diferentes escenarios de inundación. Y para cada una de ellas se determinan las consecuencias de las excedencias en función de la probabilidad o tiempos de retorno. En particular, para cada escenario, en función de la información disponible, se determinan los caudales, los calados y las velocidades. Y a partir de éstos, las consecuencias de las modelaciones realizadas.

Dentro de las consecuencias, se analizan en forma discriminada, las Pérdidas de Vidas y los Daños Económicos.

A.3.2.1 PERSONAS AFECTADAS

En relación a las Pérdidas de Vidas y personas afectadas o expuestas, se procede de la siguiente manera:

Figura A.3-1. Diagrama de flujo adaptado del trabajo SUFRI

Para cada escenario estudiado de inundación se determinan las áreas inundadas y las características de la inundación – h , v y Q -.

Se determina la población en riesgo en función de la exposición –en viviendas (interior) o en calles o vehículos (exterior)-, densidad poblacional y el tipo de edificio. Y básicamente de los censos de población y vivienda. Esto se realiza para cada escenario de estudio (cada recurrencia).

El método considera alturas h (calados) de agua en calles y sus velocidades v ; se determina el valor HR (hazard rating) según la expresión:

$$HR = h (v + 1.5)$$

En esta expresión se les da peso a los calados aun en situaciones de velocidades muy bajas, con la adición de un valor que permite ponderar el arrastre de objetos y sedimentos.

Se determina luego la Vulnerabilidad del Área afectada que tiene en cuenta el nivel de alerta presente o la velocidad de llegada o tiempo de concentración de las crecidas y un valor que tiene en cuenta las características de las zonas (residencial, fabril, otras).

Estos parámetros determinan un valor definido como vulnerabilidad del área o de la zona, AV (área vulnerability):

$$AV = FW + SO + NA$$

donde los términos presentados representan a las alertas, a los tiempos de concentración de las crecidas y a las características edilicias. La tabla siguiente es una adaptación realizada por la metodología europea, SUFRI, derivada de la normativa inglesa propuesta por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales, DEFRA. (DEFRA, s.f.).

Parámetro	1.- Área de Riesgo Bajo	2.- Área de Riesgo Medio	3.- Área de Riesgo Alto
FW: Alerta de Inundaciones	Existencia de Sistemas de Alerta y/o Preaviso (1)	Sistemas de Preaviso Limitado (2)	SIN sistema de preaviso meteorológico ni de inundaciones (3)
SO: Velocidad de Inicio del Episodio Tc	Velocidad de aparición muy gradual (muchas horas) Tc> 6 hs (1)	Velocidad de inundaciones gradual 2 hs < Tc < 6 hs (2)	Inundación Rápida Rc < 2 hs (3)
NA: Características de la Zona y Tipología de edificaciones	Edificios de varios pisos (1)	Típica área residencial (casas de 2 pisos), zonas comerciales e industrias (2)	Cabañas, carreteras muy transitadas, parques, escuelas de un solo piso, campings, otros (3)

Tabla A.3-1. Parámetros para la determinación de la vulnerabilidad del área.

Los valores pueden variar desde 3 hasta 9 (sumados), dando los resultados que se esperarían al momento de ocurrir los hechos, pudiendo apreciarse, matemáticamente las bondades de las medidas no estructurales si se disminuye el valor de AV.

El porcentaje de la población expuesta resulta de considerar el Factor de Exposición X%, resulta:

$$X(\%) = AV \times HR$$

Con la población presente en el área de inundación (valores de los radios censales, N(Z)), se calcula la población expuesta al riesgo, N(ZE):

$$N(ZE) = X \times N(Z)$$

Por otra parte, con los resultados de la severidad aplicados a cada área inundada, y la categoría estimada, Tabla 44, en función de los sistemas de aviso, si existen o no, se puede determinar la tasa de mortalidad, que para inundaciones pluviales se adopta la indicada en la bibliografía y que se transcribe.

Nivel de Severidad		Calado	Velocidad	Parámetro de Vuelco	Parámetro de Deslizamiento
		y (m)	v (m/s)	$I = v \times y$ (m ² /s)	$S = v^2 \times y$ (m ² /s ²)
S 0	Severidad Baja				
	No se esperan Víctimas	< 0,45	< 1,50	< 0,45	< 1,23
S 1	Severidad Leve				
	Dificultad para caminar	< 0,80	< 1,60	< 1,00	< 1,23
S 2	Severidad Media				
	Pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia	< 1,00	< 1,80	< 1,00	< 1,23
S 3	Severidad Elevada				
	Alto riesgo para personas en el exterior = arrastre	> 1,00	> 1,80	> 1,00	> 1,23
S 4	Severidad Extrema				
	Daños a edificios	> 1,00	> 1,80	> 3,00	> 1,23

Tabla A.3-2. Nivel de Severidad S. SUFRI.

Categoría	Descripción
Cp1	No existen sistemas de aviso
Cp2	Existen sistemas de aviso pero son limitados
Cp3	Sistemas de aviso efectivos y comprobados

Tabla A.3-3. Categorías en función de los avisos o alertas.

Categoría Cp	Nivel de Severidad	Tasa, FRp (Valor Propuesto)	Rango para FRp (Valores mínimo y máximo)
Cp1	S0	0.0003	0.0000 - 0.0009
	S1	0.0021	0.0010 - 0.0030
	S2	0.0038	0.0015 - 0.0045
	S3	0.0105	0.0060 - 0.0400
	S4	0.0448	0.0100 - 0.1100
Cp2	S0	0.0003	0.0000 - 0.0008
	S1	0.0018	0.0012 - 0.0024
	S2	0.0033	0.0014 - 0.0037
	S3	0.0090	0.0050 - 0.0350
	S4	0.0384	0.0100 - 0.0950
Cp3	S0	0.0002	0.0000 - 0.00065
	S1	0.0015	0.0010 - 0.0020
	S2	0.0027	0.0010 - 0.0030
	S3	0.0075	0.0040 - 0.0280
	S4	0.0320	0.0090 - 0.0800

Tabla A.3-4. Tasas de mortalidad de la escorrentía pluvial. SUFRI.

Se aplican correcciones a cada una de las áreas analizadas en función del porcentaje de personas vulnerables (mayores a 65 años y menores de 5), porcentaje que se compara con los valores medios nacionales; el objeto es ponderar hogares de ancianos, jardines de infantes, hospitales, etc., que son datos que se pueden extraer de los censos nacionales de personas y viviendas, a través del Índice de Población altamente vulnerable, Y(%).

		Y = P1 + P2		
		% Población con enfermedades crónicas o especialmente vulnerable, P2		
		Superior a la media (0.50)	Similar a la media (0.25)	Inferior a la media (0.10)
Población con edad superior a 65 años y menor a 5 años, P1	Superior a la media nacional (0.50)	1	0.75	0.60
	Similar a la media nacional (0.25)	0.75	0.50	0.35
	Inferior a la media nacional (0.10)	0.60	0.35	0.20

Tabla A.3-5. Índices de corrección de tasas de mortalidad por vulnerabilidad Poblacional (Penning-RowSELL et al., 2005).

Finalmente, el número de víctimas se calcula una vez determinada la población vulnerable, y las tasas de mortalidad:

$$N(Víctimas) = AV \times HR \times N(Z) \times 2 \times Y \times FRp$$

Con estas consideraciones se determina a la cantidad de personas potenciales en riesgo.

A.3.2.2 DAÑOS ECONÓMICOS

En relación a los Daños Económicos se procede de la siguiente manera:

Para cada escenario de inundación estudiado se determina el calado del agua, dentro y fuera de las viviendas.

Para las viviendas en particular, se tomó de revistas de ingeniería y arquitectura, el costo de una vivienda típica, desglosado, en forma porcentual, por rubros. A cada uno de éstos se lo afectó por daños de presencia de agua en función del calado o nivel de agua dentro de las viviendas, considerando qué instalaciones afectaba, revoques, paredes, etc.

Se consideró que el daño máximo posible en una vivienda representa al 50% del costo de construcción de la vivienda nueva. Para una vivienda tipo de 100,97 m². El costo de construcción relevados asciende a los 1100 U\$S/m², por lo que el daño máximo se estimó en 550 U\$D/m².

En forma separada, pero con el mismo criterio, se consideraron los daños a los bienes muebles, considerando que algunos de ellos pueden ser movidos para su protección mientras que otros no. Se estimó un valor total de bienes muebles, dividido por la superficie de la vivienda (100,97 m²) y se estimó un valor por metro cuadrado para ponderarlos.

Figura A.3-2. Diagrama de flujo adaptado del trabajo SUFRI.

Y finalmente se analizó en forma semejante, los daños en la vía pública, en función del calado, que son daños derivados de las tormentas (caída de árboles, corte de cables, requerimientos de personal para preservación, pero no asistencia, limpieza posterior de calles por los eventos específicos, etc.).

Vivienda Unifamiliar	
Modelo 1 de 100.97 m ²	
Tres dormitorios, estar, cocina, lavadero, baño y toilette, desarrollado en una planta. Con garage.	
	%
Trabajos preliminares	1.67
Excavaciones	0.60
Mampostería	18.06
Hormigón Armado	4.29
Aislaciones	1.62
Cubiertas	14.14
Revoques	9.77
Cielorrasos	2.51
Contrapisos	2.63
Pisos	3.65
Zócalos	0.49
Revestimientos	0.94
Carpintería	4.42
Instalación Sanitaria	10.81
Instalación de Gas	3.00
Instalación Eléctrica	4.75
Pinturas	3.33
Cristales	1.09
Varios	2.44
Beneficio	9.79

Tabla A.3-6. Costos porcentuales de construcción de una vivienda, incluidos los impuestos

Los daños estimados en función de la altura del agua dentro de la vivienda, se tradujeron en curvas de daños, semejantes a las existentes en la literatura sobre el tema. Y para bienes muebles y la vía pública.

Altura del agua (desde base cordón cuneta) [m]	0,00	0,15	0,30	0,45	0,6	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95	2,10	2,25	2,40	2,55
(equiv interior vivienda) [m]	0,05 0,20 0,35 0,50 0,65 0,80 0,95 1,10 1,25 1,40 1,55 1,70 1,85 2,00 2,15																	
	% Daño Económico																	
En vivienda Unifamiliar	0,0	0,0	0,0	0,15	5,20	10,2	16,23	22,8	30,72	42,4	61,0	78,42	85,71	92,05	98,0	100,0	100,0	100,0
Muebles y equipam.	0,0	0,0	0,0	0,50	12,0	25,0	27,5	35,0	45,0	70,0	95,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Vía Pública e Infraestructura Urbana	0,0	0,0	0,175	0,25	0,364	1,50	2,25	9,75	16,4	27,0	34,1	42,5	45,0	49,0	50,0	50,0	50,0	50,0

Tabla A.3-7. Daños económicos en función del calado del agua en calles.

De las áreas inundadas se deben discriminar los m² correspondientes a viviendas y a la vía pública, calculados y estimados en algunas zonas, en base a imágenes satelitales, factores de ocupación del suelo permitidos, censos de viviendas, y otros datos relevantes.

Para determinar las relaciones costo-beneficio se calcularon los daños económicos en viviendas y espacios públicos, se tuvo, mediante un sistema de información geográfica:

Daños Económicos en Viviendas, Infraestructura										
R	Frecuencia 1 / R	Daños Económicos sobre muebles, inmuebles e infraestructura								
		Fase 1: Situación al año 2013		Fase 2: Situación Actual		Fase 3a: Situación Con Reservorios		Fase 3b: Situación Con Túneles		
		Daños	Daños x %	Daños	Daños x %	Daños	Daños x %	Daños	Daños x %	
2	0.5	\$ 5,673,717.9	\$ 2,836,858.9	\$ 3,257,371.7	\$ 1,628,685.8	\$ 3,266,145.8	\$ 1,633,072.9	\$ 1,141,043.9	\$ 570,522.0	
5	0.2	\$ 18,766,640.7	\$ 3,753,328.1	\$ 7,955,284.0	\$ 1,591,056.8	\$ 7,960,127.7	\$ 1,592,025.5	\$ 5,897,446.1	\$ 1,179,489.2	
10	0.1	\$ 35,868,284.1	\$ 3,586,828.4	\$ 17,467,472.9	\$ 1,746,747.3	\$ 17,381,551.5	\$ 1,738,155.2	\$ 9,179,739.1	\$ 917,973.9	
25	0.04	\$ 81,943,076.2	\$ 3,277,723.0	\$ 51,432,000.0	\$ 2,057,280.0	\$ 51,247,651.5	\$ 2,049,906.1	\$ 26,496,822.0	\$ 1,059,872.9	
50	0.02	\$ 120,699,043.2	\$ 2,413,980.9	\$ 81,102,149.5	\$ 1,622,043.0	\$ 80,708,397.3	\$ 1,614,167.9	\$ 42,745,207.8	\$ 854,904.2	
100	0.01	\$ 167,547,479.7	\$ 1,675,474.8	\$ 119,023,502.4	\$ 1,190,235.0	\$ 118,515,813.3	\$ 1,185,158.1	\$ 66,414,121.6	\$ 664,141.2	
200	0.005	\$ 220,576,048.1	\$ 1,102,880.2	\$ 163,174,962.2	\$ 815,874.8	\$ 162,646,044.1	\$ 813,230.2	\$ 96,754,062.0	\$ 483,770.3	
500	0.002	\$ 309,248,732.6	\$ 618,497.5	\$ 241,864,063.6	\$ 483,728.1	\$ 243,518,368.3	\$ 487,036.7	\$ 232,410,213.5	\$ 464,820.4	
2de Abril		\$ 1,986,150,795.9		\$ 1,652,945,786.5		\$ 1,829,845,798.3		\$ 1,327,060,206.4		
PMP		\$ 2,831,498,031.1		\$ 2,595,179,900.3		\$ 2,451,829,463.3		\$ 2,294,684,402.6		
Totales Anuales Ponderados		\$ 19,265,571.9		\$ 11,135,650.9		\$ 11,112,752.7		\$ 6,195,494.1		

Tabla A.3-8. Cálculo del Daño Económico Total para cada fase y para cada recurrencia. Ponderación anual del Daño Económico.

En caso de colocar compuertas para todas las viviendas afectadas:

Daños Económicos en Viviendas, Infraestructura											
R	Frecuencia 1 / R	Daños Económicos sobre muebles, inmuebles e infraestructura									
		Fase 1: Situación al año 2013		Fase 2: Situación Actual		Fase 2b: + Compuertas 0.45 m		Fase 3a: Situación Con Reservorios		Fase 3b: Situación Con Túneles	
		Daños	Daños x %	Daños	Daños x %	Daños	Daños x %	Daños	Daños x %	Daños	Daños x %
2	0.5	\$ 5,673,717.9	\$ 2,836,858.9	\$ 3,257,371.7	\$ 1,628,685.8	\$ 1,486,037.7	\$ 743,018.8	\$ 3,266,145.8	\$ 1,633,072.9	\$ 1,141,043.9	\$ 570,522.0
5	0.2	\$ 18,766,640.7	\$ 3,753,328.1	\$ 7,955,284.0	\$ 1,591,056.8	\$ 2,693,186.8	\$ 538,637.4	\$ 7,960,127.7	\$ 1,592,025.5	\$ 5,897,446.1	\$ 1,179,489.2
10	0.1	\$ 35,868,284.1	\$ 3,586,828.4	\$ 17,467,472.9	\$ 1,746,747.3	\$ 4,048,929.4	\$ 404,892.9	\$ 17,381,551.5	\$ 1,738,155.2	\$ 9,179,739.1	\$ 917,973.9
25	0.04	\$ 81,943,076.2	\$ 3,277,723.0	\$ 51,432,000.0	\$ 2,057,280.0	\$ 10,454,549.3	\$ 418,182.0	\$ 51,247,651.5	\$ 2,049,906.1	\$ 26,496,822.0	\$ 1,059,872.9
50	0.02	\$ 120,699,043.2	\$ 2,413,980.9	\$ 81,102,149.5	\$ 1,622,043.0	\$ 19,233,501.0	\$ 384,670.0	\$ 80,708,397.3	\$ 1,614,167.9	\$ 42,745,207.8	\$ 854,904.2
100	0.01	\$ 167,547,479.7	\$ 1,675,474.8	\$ 119,023,502.4	\$ 1,190,235.0	\$ 35,066,824.9	\$ 350,668.2	\$ 118,515,813.3	\$ 1,185,158.1	\$ 66,414,121.6	\$ 664,141.2
200	0.005	\$ 220,576,048.1	\$ 1,102,880.2	\$ 163,174,962.2	\$ 815,874.8	\$ 57,859,258.5	\$ 289,296.3	\$ 162,646,044.1	\$ 813,230.2	\$ 96,754,062.0	\$ 483,770.3
500	0.002	\$ 309,248,732.6	\$ 618,497.5	\$ 241,864,063.6	\$ 483,728.1	\$ 111,808,786.1	\$ 223,617.6	\$ 243,518,368.3	\$ 487,036.7	\$ 232,410,213.5	\$ 464,820.4
2de Abril		\$ 1,986,150,795.9		\$ 1,652,945,786.5		\$ 1,922,494,906.4		\$ 1,829,845,798.3		\$ 1,327,060,206.4	
PMP		\$ 2,831,498,031.1		\$ 2,595,179,900.3		\$ 2,055,172,368.8		\$ 2,451,829,463.3		\$ 2,294,684,402.6	
Totales Anuales Ponderados		\$ 19,265,571.9		\$ 11,135,650.9		\$ 3,352,983.3		\$ 11,112,752.7		\$ 6,195,494.1	

Tabla A.3-9. Cálculo del Daño Económico Total destacando la implementación de compuertas en 54.001 viviendas afectadas, para cada recurrencia y Ponderación anual del Daño Económico.

A.3.3 NIVELES CRÍTICOS

Los niveles, profundidades o calados críticos que generan inconvenientes en calles y vía pública, se pueden considerar al dificultar la circulación peatonal y vehicular, a los 15 cm o altura de cordones; posteriormente al ingresar el agua a las viviendas con niveles medios de 40 cm medidos desde el cordón cuneta. Luego cuando los vehículos adquieren posibilidad de flotar, por encima de los 60 cm.

Como ejemplo se indica una tormenta ocurrida sobre la ciudad de La Plata, el día 3 de enero de 2017. Precipitaron 37,8 mm. pero con valores pico de intensidad, menores a 10 minutos, del orden de los 91 mm/h. Datos del Observatorio astronómico de la UNLP, descargados de su página web <https://meteo.fcaglp.unlp.edu.ar/>.

Se produjeron anegamientos en varias esquinas de la ciudad:

Figura A.3-3. 7 y 32 – Anegamiento. Solo la esquina, disminuyendo hacia 33

Figura A.3-4. Dg 74 y 11 – Anegamiento parcial < 15 cm

Figura A.3-5. 11 y 48 – Anegamiento parcial < 15 cm

Generan inconvenientes “menores”.

A medida que los niveles en calle aumentan, se anega el ancho total de la vía pública:

Figura A.3-6. Alturas de agua del orden de los 40 cm.

Figura A.3-7. Alturas de agua superiores a los 60 cm

Figura A.3-8. Alturas de agua mayores a 120 cm.

Figura A.3-9. Consecuencias de alturas mayores a los 60/80 cm. 3 de abril de 2013.

Cuando los niveles se producen dentro de las viviendas (en promedio 40 cm por encima del cordón cuneta) ocurren situaciones críticas para alturas de 30 cm en viviendas, para alturas del orden de los 85 cm que corresponde a las alturas en mesas y mesadas y mayores a los 120 cm.

A continuación, se presentan imágenes en este sentido:

Figura A.3-10. Niveles de agua interiores al momento de la crecida. Los niveles fueron subiendo.

Figura A.3-11. Marca de agua de los niveles alcanzados por las aguas, superando altura de mesas.

Figura A.3-12. Se observa en el exterior arrastre de escombros.

Figura A.3-13. En muchos casos, existen conexiones entre las instalaciones pluviales y las cloacales con riesgo sanitario

ANEXO 4

RELACIONES COSTO - BENEFICIO

A.4 RELACIONES COSTO - BENEFICIO

A.4.1 INTRODUCCIÓN

Sobre los costos de obras, ya sean de obras licitadas o propuestas, y en base a los daños evitados, calculados como la diferencia entre los daños para una estimación base y los cambios en los daños por las medidas que se propongan, y ponderados por las probabilidades, se determinan las relaciones costo-beneficio, y las tasas de descuento.

A.4.2 MEDIDAS ESTRUCTURALES: OBRAS ACTUALES

El costo de las obras que definen la situación actual, que incluyen la canalización y revestimiento de los tramos indicados, los derivadores de la avenida 31 y 143, con el de 139, estimados en el orden de los 2.000 millones de pesos al año 2.014, con un valor del dólar promedio, de 8,43 \$/U\$D, se obtuvo un presupuesto de obras de U\$D 237 millones. El plazo analizado para estas obras fue, cercano a los 3 años.

Figura A.4-1. Costos – beneficios de las obras que definen a la situación actual.

Se analizan los costos y los beneficios al año 0, de manera de tener, los costos y beneficios comparables en el tiempo, a través de fórmulas financieras donde interviene la tasa de interés o tasa de descuento, el período constructivo $C=3$ años y el período de amortización, vida útil o explotación $E=50$ años (también se analizó $E=20$ años).

Variando el valor de la tasa y haciendo que la relación B/C sea $=1$, se obtiene lo que se define como Tasa Interna de Retorno (TIR), que comparada con las tasas de crédito indica la viabilidad financiera de las obras.

Figura A.4-2. Daños medios anuales DMA y Daños medios anuales esperados DMAE situación Fase2 y Fase 1.

Figura A.4-3. CAN e IAN en función de la tasa de interés para las Obras Ejecutadas que definen a la situación actual Fase 2 en comparación con la Fase 1, situación al año 2013.

La TIR es la que indican los bancos de crédito como el BID para la viabilidad de los créditos.

Para alcanzar el valor de los beneficios fue necesario calcular los daños correspondientes a las tormentas para la situación existente al año 2013 como la

correspondiente a la situación con las obras ejecutadas, ambas realizadas en base al mismo modelo matemático, la curva de aplicación de daños en viviendas y en la vía pública, y ponderadas en forma anualizada.

Daños Económicos en Viviendas, Infraestructura					
R	Frecuencia 1 / R	Daños Económicos sobre muebles, inmuebles e infraestructura			
		Fase 1: Situación al año 2013		Fase 2: Situación Actual	
		Daños	Daños x %	Daños	Daños x %
2	0.5	\$ 5,673,717.9	\$ 2,836,858.9	\$ 3,257,371.7	\$ 1,628,685.8
5	0.2	\$ 18,766,640.7	\$ 3,753,328.1	\$ 7,955,284.0	\$ 1,591,056.8
10	0.1	\$ 35,868,284.1	\$ 3,586,828.4	\$ 17,467,472.9	\$ 1,746,747.3
25	0.04	\$ 81,943,076.2	\$ 3,277,723.0	\$ 51,432,000.0	\$ 2,057,280.0
50	0.02	\$ 120,699,043.2	\$ 2,413,980.9	\$ 81,102,149.5	\$ 1,622,043.0
100	0.01	\$ 167,547,479.7	\$ 1,675,474.8	\$ 119,023,502.4	\$ 1,190,235.0
200	0.005	\$ 220,576,048.1	\$ 1,102,880.2	\$ 163,174,962.2	\$ 815,874.8
500	0.002	\$ 309,248,732.6	\$ 618,497.5	\$ 241,864,063.6	\$ 483,728.1
2de Abril		\$ 1,986,150,795.9		\$ 1,652,945,786.5	
PMP		\$ 2,831,498,031.1		\$ 2,595,179,900.3	
Totales Anuales Ponderados					

Tabla A.4-1. Daños al 2013 y daños con obras realizadas, contabilizados y ponderados por su probabilidad.

La diferencia de daños entre ambas situaciones es de U\$D 8,13 millones que corresponde al beneficio derivado de los daños evitados.

Los daños correspondientes a la tormenta del día 2 de abril de 2.013 o los daños correspondientes a la Precipitación Máxima Probable, también han sido calculados, pero no ponderados, dado que la probabilidad no se conoce y su incidencia, en base a estudios hidrológicos, sería extremadamente baja por lo que su ponderación no aportaría beneficios por daños evitados, para introducir en el cálculo de la TIR.

A.4.3 MEDIDAS ESTRUCTURALES: COMPUERTAS

En este caso se disminuyeron los daños en viviendas para las alturas del agua dentro de ellas alcanzaba hasta los 45 cm. El resto de los daños se mantuvo.

De esta forma, ahora con base en la situación actual, se determinaron los beneficios derivados de los daños evitados, y se despejó qué valor de costos era admisible, para una tasa de descuento razonable, del 8 al 10%.

Se analizaron períodos de amortización de 20 y 50 años y se calculó el valor del costo que hacía viable esta premisa. El costo requerido para obtener el Gráfico 140, resultó de U\$D 55 millones, que interesaría a un total de 54.001 viviendas, que representa en el orden de los 1100 U\$D / vivienda.

Figura A.4-4. Daños medios Anuales y Esperados al 2013 y con la Situación anual.

Figura A.4-5. Relación costo- beneficio por la implementación de compuertas. Períodos de amortización de 20 a 50 años.

Daños Económicos en Viviendas, Infraestructura					
R	Frecuencia 1 / R	Fase 2: Situación Actual		Fase 2b: + Compuertas 0.45 m	
		Daños	Daños x %	Daños	Daños x %
2	0.5	\$ 3,257,371.7	\$ 1,628,685.8	\$ 1,486,037.7	\$ 743,018.8
5	0.2	\$ 7,955,284.0	\$ 1,591,056.8	\$ 2,693,186.8	\$ 538,637.4
10	0.1	\$ 17,467,472.9	\$ 1,746,747.3	\$ 4,048,929.4	\$ 404,892.9
25	0.04	\$ 51,432,000.0	\$ 2,057,280.0	\$ 10,454,549.3	\$ 418,182.0
50	0.02	\$ 81,102,149.5	\$ 1,622,043.0	\$ 19,233,501.0	\$ 384,670.0
100	0.01	\$ 119,023,502.4	\$ 1,190,235.0	\$ 35,066,824.9	\$ 350,668.2
200	0.005	\$ 163,174,962.2	\$ 815,874.8	\$ 57,859,258.5	\$ 289,296.3
500	0.002	\$ 241,864,063.6	\$ 483,728.1	\$ 111,808,786.1	\$ 223,617.6
2de Abril		\$ 1,652,945,786.5		\$ 1,922,494,906.4	
PMP		\$ 2,595,179,900.3		\$ 2,055,172,368.8	
Totales Anuales					
Ponderados					

Tabla A.4-2. Daños económicos atenuados por la colocación de compuertas y ponderados

A.4.4 MEDIDAS ESTRUCTURALES: RESERVORIOS

El mismo criterio fue utilizado para determinar qué costo se podría asumir para la construcción de los reservorios en función de los daños evitados y tasas de descuento razonables, para decidir la ejecución de estas obras (incluida la expropiación de terrenos).

Se determinaron los beneficios derivados de los daños evitados, y se despejó qué valor de costos era admisible, para una tasa de descuento razonable, del 8 al 10%.

Se analizaron períodos de amortización de 20 y 50 años y se calculó el valor del costo que hacía viable esta premisa. El costo requerido para obtener el Gráfico 141, resultó de U\$D 0,33 millones, dado que los daños en viviendas y vía pública es imperceptible.

Figura A.4-6. Relación costo-beneficio para los reservorios.

Daños Económicos en Viviendas, Infraestructura					
R	Frecuencia 1 / R	Fase 2: Situación Actual		Fase 3a: Situación Con Reservorios	
		Daños	Daños x %	Daños	Daños x %
2	0.5	\$ 3,257,371.7	\$ 1,628,685.8	\$ 3,266,145.8	\$ 1,633,072.9
5	0.2	\$ 7,955,284.0	\$ 1,591,056.8	\$ 7,960,127.7	\$ 1,592,025.5
10	0.1	\$ 17,467,472.9	\$ 1,746,747.3	\$ 17,381,551.5	\$ 1,738,155.2
25	0.04	\$ 51,432,000.0	\$ 2,057,280.0	\$ 51,247,651.5	\$ 2,049,906.1
50	0.02	\$ 81,102,149.5	\$ 1,622,043.0	\$ 80,708,397.3	\$ 1,614,167.9
100	0.01	\$ 119,023,502.4	\$ 1,190,235.0	\$ 118,515,813.3	\$ 1,185,158.1
200	0.005	\$ 163,174,962.2	\$ 815,874.8	\$ 162,646,044.1	\$ 813,230.2
500	0.002	\$ 241,864,063.6	\$ 483,728.1	\$ 243,518,368.3	\$ 487,036.7
2de Abril		\$ 1,652,945,786.5		\$ 1,829,845,798.3	
PMP		\$ 2,595,179,900.3		\$ 2,451,829,463.3	
Totales Anuales Ponderados					

Tabla A.4-3. Daños económicos comparados, situación actual y con reservorios

La tabla demuestra que los daños son muy semejantes con diferencias dentro de los errores de los modelos utilizados.

Se había indicado que más allá de la atenuación producida, los volúmenes en juego no son relevantes sobre los conductos, salvo para el derivador de 139, y que los daños derivan de las aguas que precipitan sobre cada sub cuenca. El agua derivada afecta al segundo pico de crecida, que en muchas situaciones no implica un máximo de inundación.

En el caso particular de la lluvia del día 2 de abril de 2013, retardar las aguas y liberarlas cuando el evento alcanzó su mayor intensidad de crecida hace que los efectos de los reservorios pudieran llegar a ser contraproducentes, más allá de los daños calculados.

A.4.5 MEDIDAS ESTRUCTURALES: TÚNELES

Con respecto a los costos estimados para la ejecución de túneles de 6,90 m de diámetro se consultó a la empresa Ghella que tuvo a su cargo la construcción de los túneles del arroyo Maldonado, en CABA.

Se determinaron los beneficios derivados de los daños evitados, y se intentó justificar a las obras solo desde los daños evitados sin justipreciar a las personas afectadas (indemnizaciones), heridas o fallecidas. El costo de las obras, para 12,5 Km de túneles se estimó en el orden de los U\$D 250 millones.

.

Figura A.4-7. Relación costo-beneficio para los túneles.

Figura A.4-8. Daños medios anuales DMA y Daños Medios Anuales Esperados DMAE para la Fase 3b con túneles

Daños Económicos en Viviendas, Infraestructura					
R	Frecuencia 1 / R	Fase 2: Situación Actual		Fase 3b: Situación Con Túneles	
		Daños	Daños x %	Daños	Daños x %
2	0.5	\$ 3,257,371.7	\$ 1,628,685.8	\$ 1,141,043.9	\$ 570,522.0
5	0.2	\$ 7,955,284.0	\$ 1,591,056.8	\$ 5,897,446.1	\$ 1,179,489.2
10	0.1	\$ 17,467,472.9	\$ 1,746,747.3	\$ 9,179,739.1	\$ 917,973.9
25	0.04	\$ 51,432,000.0	\$ 2,057,280.0	\$ 26,496,822.0	\$ 1,059,872.9
50	0.02	\$ 81,102,149.5	\$ 1,622,043.0	\$ 42,745,207.8	\$ 854,904.2
100	0.01	\$ 119,023,502.4	\$ 1,190,235.0	\$ 66,414,121.6	\$ 664,141.2
200	0.005	\$ 163,174,962.2	\$ 815,874.8	\$ 96,754,062.0	\$ 483,770.3
500	0.002	\$ 241,864,063.6	\$ 483,728.1	\$ 232,410,213.5	\$ 464,820.4
2de Abril		\$ 1,652,945,786.5		\$ 1,327,060,206.4	
PMP		\$ 2,595,179,900.3		\$ 2,294,684,402.6	
Totales Anuales Ponderados					

Tabla A.4-4. Daños económicos comparados, situación actual y con túneles

Si bien las disminuciones en los montos de los daños son muy importantes, no alcanzan para justificar las obras, desde el daño material.

EL JUICIO FINAL

EL JUICIO FINAL

El tiempo en las modelaciones no tiene fin, es aplicable para cualquier momento aún en el análisis de situaciones pasadas. Puede considerarse como un péndulo, que es igual en cualquier sentido; y también como la vida, que siempre avanza en una sola dirección.

El Juicio Final es la obra de Miguel Ángel que está ubicada en el altar mayor de la Capilla Sixtina, y buscó representar a la humanidad haciendo frente a su salvación, luego de la Reforma Protestante y el saqueo de Roma, en el siglo XVI.

El motivo por el que se ha traído esta obra a este trabajo no es para aludir al concepto de tiempo, sino que, de alguna forma, tiene semejanzas con el trazado de la ciudad de La Plata, y pretende cerrar esta etapa de las investigaciones y análisis desarrollados.

Y dar fin a esta presentación.

El Juicio Final. Capilla Sixtina. Obra de Miguel Ángel (1541).

Ciudad y fresco, superpuestos.

El Juicio Final superpuesto el trazado de la ciudad de La Plata.