

Plan Maestro Drenaje Pluvial de la Cuenca de Quilmes (Argentina)

Durán, A.^{a1} y Vidal, J.^{a1}

^aProyfe S.L., Polígono de La Gándara, Avda. del Mar 123, 15.570 Narón (A Coruña). E-mail: ^{a1}antonio.duran@proyfe.com, ^{a2}juan.vidal@proyfe.com.

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Los trabajos consistieron en la **redacción de instrumentos de planificación** eficaces, enmarcando la ejecución de acciones preventivas y correctivas estructurales y no estructurales, que concluyeron en la redacción del **Plan Maestro de Drenaje Pluvial (PMDP)** y el **Anteproyecto de Obras Prioritarias** en la **Ciudad de Quilmes (Argentina)**.

Para ello se analizó el área de estudio, se modelizó hidrológica e hidráulicamente, se evaluaron los riesgos y daños asociados, se plantearon y evaluaron las alternativas de actuación y se seleccionaron y priorizaron las Medidas Estructurales y No Estructurales a realizar.

El trabajo se realizó para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH).

Palabras clave | Plan Maestro, drenaje pluvial, inundaciones, riesgos.

INTRODUCCIÓN

La concentración de la población en pequeñas áreas a lo largo de la historia ha determinado la urbanización de las mismas. El suelo, el paisaje, la hidrología y otros numerosos factores del medio son modificados a través de la urbanización de estas áreas. La urbanización de una cuenca modifica su respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia. Esta urbanización conlleva la alteración de las redes de drenaje natural y un incremento de las zonas impermeables en superficie, todo ello con el criterio común de drenar lo más eficiente y rápido posible el área urbanizada. Esta dinámica afecta a la hidrología de la cuenca y muy especialmente a las zonas situadas aguas abajo de la misma. La urbanización aguas arriba modifica el hidrograma que reciben estas zonas de forma que se incrementan el volumen y el caudal máximo y se reduce el tiempo de concentración. Todo esto implica que la zona aguas abajo estará afectada con mayor frecuencia por caudales que puedan crear problemas por inundación, tanto más importantes como menores sean las pendientes en la parte baja de la cuenca.

Cuando el desarrollo urbanístico no se realiza teniendo en cuenta el impacto que este desarrollo puede tener sobre el medio, las consecuencias respecto a eventos climáticos como las inundaciones se suelen manifestar de forma significativa e incluso catastrófica.

Si a un crecimiento urbanístico que no prevé como estas nuevas áreas urbanizadas alteran el régimen hidrológico le sumamos un crecimiento desordenado, y sobre todo acelerado, que ha resultado en la desprotección de la infraestructura urbana y en la vulnerabilidad social, sobre todo en áreas sometidas a frecuentes eventos climáticos adversos, en las que no se concibieron medidas de defensa al mismo tiempo que se desarrollaron estas sociedades, resultan áreas urbanizadas vulnerables y expuestas a la acción de los eventos climatológicos adversos, en las que estos eventos se manifiestan de forma amplificada. Este ha sido el caso de la costa bonaerense, y en especial la zona baja de Quilmes y Avellaneda. En este contexto, ha faltado el desarrollo continuo, de forma paralela al crecimiento urbano, productivo y social, de planes maestros de drenaje pluvial que redujese la vulnerabilidad ante eventos hídricos extremos.

Las amenazas provocadas por los eventos hídricos extremos se han materializado con mayor frecuencia y mayor intensidad, influenciados por el cambio climático que está teniendo lugar a nivel mundial. El fenómeno que afecta V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

frecuentemente a la Cuenca de Quilmes son las inundaciones de la zona costera del Río de La Plata, consecuencia, primordialmente de las sudestadas y de episodios de lluvia intensa. El aumento de la frecuencia de vientos del sector este-sudeste, consecuencia del calentamiento global añadido al aumento del nivel medio del mar, resultará en un mayor número de episodios de sudestada con niveles de onda de tormenta más elevados que los actuales. La ocupación urbana de La Ribera cobra especial importancia en este punto, ya que todo este barrio densamente poblado se extiende por la llanura costera de la ciudad, terminando a orillas del Río de La Plata.

Las proximidades de la barranca, talud natural que separa la zona baja de la zona con mayor elevación y alejada del borde costero no se verá afectada por las sudestadas más frecuentes, pero a esta zona si afectarán eventos de lluvia intensa, por la falta de un drenaje bien definido y la acción de la autopista Buenos Aires-La Plata como barrera al drenaje, se acumulan e inundan las áreas entre la barranca y la autopista, ocasionando impactos negativos en la población que reside en estas áreas. Además, la parte baja de la cuenca presenta unas pendientes muy reducidas, hecho que coacciona enormemente el desagüe de los caudales de agua pluvial procedentes de la parte alta de la cuenca, la cual se encuentra completamente urbanizada.

Dicho esto, se pone de manifiesto la necesidad de plantear estrategias de protección del tejido urbano afectado, y de ejecutar alternativas que permitan reducir los riesgos socioeconómicos asociados a las amenazas enumeradas. Ha sido, de este modo, que han surgido las inquietudes que dan origen a este Plan de Drenaje y Control de Inundaciones en la Ciudad de Quilmes, el cual será el elemento de planificación que establezca las necesidades, en materia de infraestructura de drenaje, requeridas para la protección del ámbito de actuación ante episodios climáticos que en la actualidad ocasionan frecuentes inundaciones.

ANTECEDENTES

En Argentina, la gestión de los recursos hídricos se ha caracterizado durante años por una gran fragmentación sectorial e institucional agudizando los desequilibrios sociales y territoriales y reflejando la necesidad de una adecuada planificación estatal. Surge así la necesidad de que la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) permita posicionar la inversión pública en obras de infraestructura hídrica como prioridades en su gestión. Dicha Autoridad Hídrica Nacional ha promovido el desarrollo, aprovechamiento, control y protección de los recursos hídricos en consenso con todas las jurisdicciones provinciales y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA).

La SSRH emprendió un fuerte proceso de inversión objetivando controlar las inundaciones en zonas urbanas y rurales, elevando la cobertura de agua potable y saneamiento, sobre todo en poblaciones de escasos recursos económicos, proveyendo de agua para riego y consumo animal en zonas productivas y generando energía limpia y renovable que atienda las necesidades de consumo del país.

Sobre este escenario previo se han desarrollado los estudios para elaborar el Plan de Gestión Integral de Drenaje y Control de Inundaciones de la ciudad de Quilmes.

OBJETIVOS

En el seno de las estrategias para la elaboración del PMDP, se han perseguido de forma explícita una serie de objetivos específicos. La influencia de la experiencia, teniendo en cuenta las acciones desarrolladas hasta la fecha en otros lugares con problemas similares, sienta las bases para establecer las características principales que deberá de cumplir el plan: debe de estar planteado con un **Enfoque Integral**, y debe ser **Flexible y adaptable** en el tiempo.

El enfoque integral desarrollado en este trabajo sintetiza una visión común en la que forman parte activamente las variables institucionales, las tecnologías sostenibles y las previsiones del cambio climático, a través de una perspectiva que pone de manifiesto la realidad del área y de sus habitantes, identificando los núcleos vulnerables de población, sus formas de organización frente al desastre y la percepción social del riesgo, junto con los aspectos económicos y urbanos del área.

La segunda de las características enumeradas, la flexibilidad, nos ha exigido crear un plan adaptable, resiliente y durable a largo plazo, que permita ser implementado y consiguientemente aceptado por la sociedad beneficiaria.

Las características principales, enfoque integral, flexibilidad y adaptabilidad han articulado los trabajos para alcanzar los siguientes objetivos generales del PMDP:

- Incrementar la percepción del riesgo de inundación en la franja de Quilmes identificada como especialmente vulnerable, y de las estrategias de autoprotección en la población, agentes sociales y económicos.
- Mejorar la coordinación administrativa entre todos los actores involucrados en la gestión del riesgo de inundación existente, bien por lluvias como por sudestadas.
- Mejorar el conocimiento para la adecuada gestión del riesgo de inundación.
- Mejorar la capacidad predictiva ante situaciones de avenida e inundaciones.
- Contribuir a la mejora de la ordenación del territorio y de la gestión de la exposición en las zonas inundables.
- Conseguir una reducción del riesgo a través de la eliminación del peligro para la salud humana, las actividades económicas, el patrimonio cultural y el medio ambiente en las zonas inundables.
- Disminuir la vulnerabilidad de los elementos en las zonas inundables.
- Contribuir a la mejora o mantenimiento del buen estado de las masas de agua.

DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO

Características Físicas

El ámbito de actuación fue la Cuenca de Quilmes, con una superficie de 35 km², donde se asienta una población de 193.219 habitantes (censo 2010). La cuenca se encuentra delimitada por los arroyos Santo Domingo al este y Jiménez al oeste, el relieve de la zona es armónico y suave, existiendo en líneas generales una pendiente regional en dirección Norte, hacia la planicie costera y el Río de la Plata.

En función de su orografía y desarrollo urbano, la cuenca en estudio comprende dos áreas diferenciadas. Por un lado una zona a mayor cota, densamente urbanizada, donde se asienta la mayor parte de la población y, por otro, una zona ribereña que constituye un terreno de baja cota, sujeto a inundaciones recurrentes por efecto de las lluvias y de las sudestadas. Separando la parte alta de la zona ribereña, existe una línea de quiebre del terreno con una pendiente más acusada, localmente denominada barranca.



Figura 1 | Recreación 3D del ámbito de actuación con indicación de autopista y Cauces existentes.

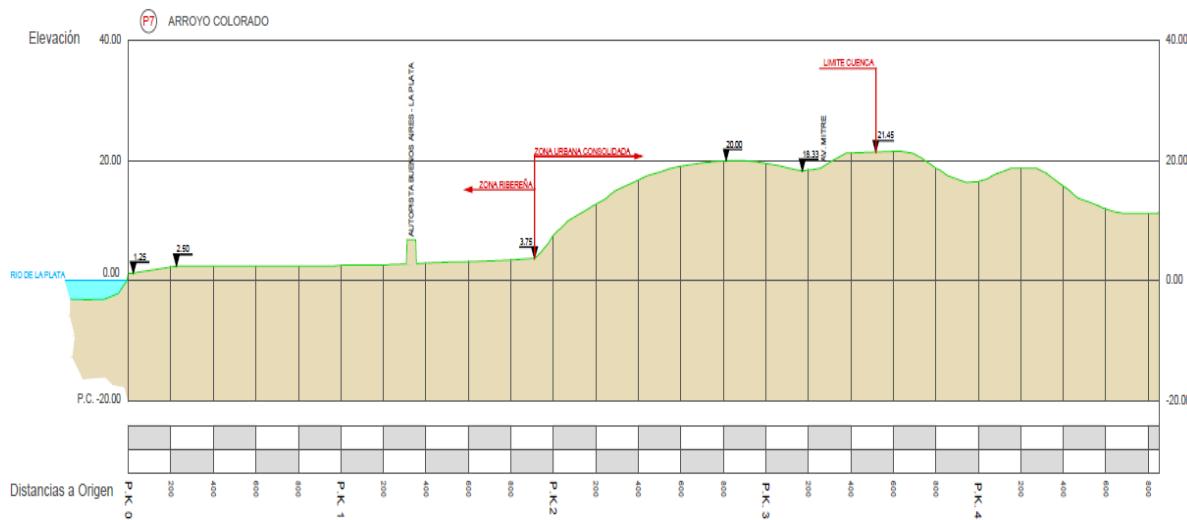


Figura 2 | Perfil transversal de la Cuenca de Quilmes en dirección NE-SO.

Como puede verse en la imagen 3-D adjunta y el perfil transversal asociado, generados a partir de los datos cartográficos existentes y los levantamientos topográficos tomados in situ, se diferencian, claramente las zonas anteriormente mencionadas. Aguas debajo de la barranca, ya en la zona de planicie, se sitúa la autopista Buenos Aires - La Plata, esta infraestructura altera el drenaje natural de la cuenca hacia el Río de la Plata, actuando como barrera artificial al drenaje, lo que se traduce en inundaciones entre la barranca y la autopista ante episodios de lluvia extrema o combinaciones de sudestada y precipitación.

Estas características morfológicas propician que la zona no presente en la actualidad un drenaje bien definido y adaptado a los eventos climáticos que con frecuencia se presentan en la zona.

El Río de La Plata, que baña las orillas del área de actuación, está formado por la confluencia de dos de los ríos más importantes de Sudamérica, el Paraná y el Uruguay. Su nivel medio ha aumentado en las últimas décadas debido al cambio climático, observándose un aumento de nivel medio que coincide con el aumento del nivel medio del mar a nivel global, aunque la amplitud de la oscilación de la marea es pequeña, las componentes meteorológicas, ondas de tormenta, son altamente relevantes. Es así, que la acción de los vientos locales puede producir variaciones del nivel de agua de varias decenas de centímetros, provocando apilamientos cuando éstos son vientos del SE, y depresiones si son del Norte y Oeste. Estas situaciones afectan directamente a la red de drenaje de la cuenca, que no se encuentra definida de forma natural, habiéndose establecido ésta sobre un sistema de entubamientos y canales de origen antrópico, que verán mermadas sus capacidades de desagüe tanto mayor sea el nivel del Río de la Plata, aumentando el riesgo de inundación de la planicie costera. En esta red, además de los arroyos Santo Domingo y Jiménez, que delimitan la cuenca y son el drenaje natural de su contorno, conforman la red de drenaje los cursos de agua Canal 14, Canal Lomas de Zamora, Canal Papelera, Canal Monteagudo, Canal Alsina y el Arroyo Colorado y Colorado bis, enumerados geográficamente de norte a sur.

Tal y como se observa, los arroyos y canales anteriores discurren a lo largo de la planicie costera evacuando las aguas drenadas aguas arriba de la Autopista al Río de La Plata.

Realidad social y Urbana

El Área Metropolitana de Buenos Aires ocupa una superficie total de 2.590 kilómetros cuadrados y concentra cerca del 32% de la población total del país produciendo alrededor del 40% del PIB nacional. Mientras que el 23% de toda su población reside en la ciudad capital (2,9 millones de habitantes), el 77% lo hace en el conurbano bonaerense (9,9 millones de habitantes). La distribución de la renta no es homogénea, es destacable que, mientras que casi la mitad de los hogares de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se ubican en el estrato más alto de la clasificación socioeconómica, en el conurbano bonaerense, un

tercio de los hogares pertenecen al estrato más bajo. Otro dato especialmente relevante es que casi el 10% de los hogares del Área Metropolitana de Buenos Aires residen en villas o asentamientos precarios, siendo esta incidencia algo mayor, también, en el conurbano bonaerense que en la capital (8%).

En general, en la zona oeste y en la zona sur (donde se sitúa la Cuenca de Quilmes) es donde se concentran las mayores carencias en materia de acceso a una vivienda adecuada, a infraestructura urbana y a un hábitat saludable (16% en zona oeste y a 21% en zona sur).

La zona en estudio pertenece a los partidos de Quilmes y Avellaneda y, en concreto, representa una superficie de 35 km², donde se asienta una población de 193.219 habitantes (censo 2010).

Se ha caracterizado la pobreza estructural del área a partir del indicador de necesidades básicas insatisfechas, siendo los porcentajes de 3,53% en Avellaneda y 5,77% en Quilmes respecto a la población total de cada municipio.

El analfabetismo de la población alcanza cifras del 4,25% del total en el partido de Avellaneda y del 4,80% en el partido de Quilmes.

La vivienda ha sido otro punto clave a tratar, con el fin de valorar los daños provocados por las inundaciones. Su distribución se divide en casi el 54% viviendas pertenecientes a asentamientos urbanos, 12% en villas de emergencia y 34% en caseríos de viviendas.

Finalmente y completando la visión social del ámbito, se han analizado las condiciones socioeconómicas de la población a través de indicadores referidos a infraestructura y economía incluyendo la sanidad, en la que el 36,59% y 28,8% de la población en Quilmes y Avellaneda no cuenta con obra social, prepaga o plan estatal de cobertura de salud; la educación, que no llega a la totalidad de la población, alcanzando el analfabetismo cifras del 4,25% del total en el partido de Avellaneda y del 4,80% en el partido de Quilmes; y las vías de comunicación, entre las que destaca la Autopista de Buenos Aires – La Plata, que conecta con la Ruta 2, desarrollándose las restantes vías de comunicación primaria en la dirección NO-SE en su mayoría.

Resulta importante mencionar la proliferación de asentamientos humanos irregulares en predios estatales o privados que no pueden ser urbanizados, ni destinados a uso residencial. Estos asentamientos se localizan, en su mayoría, a la vera de las vías de ferrocarril y autopista, en una plaza pública, en predios baldíos, en terrenos inundables, etc. construyendo viviendas precarias carentes de servicios urbanos. Desde el punto de vista de riesgo hídrico, en la zona se encuentran varios asentamientos informales de este tipo establecidos en áreas identificadas como potencialmente inundables. El tamaño de estas villas y barrios, lejos de reducirse, no ha hecho sino aumentar en los últimos años.

Marco Ambiental

Un aspecto considerado en la redacción del PMDP, es la **identificación y valoración de las repercusiones** que bajo una perspectiva estratégica, éste puede ocasionar sobre el entorno (tanto desde el punto de vista natural como social) y efectuar recomendaciones tempranas (correspondientes a la presente fase de planificación estratégica) que permitan maximizar los impactos positivos y mitigar los potenciales impactos negativos.

Para la redacción del documento ambiental del PMDP, se consideró el **marco normativo** e institucional existente a nivel municipal, provincial y nacional, así como las indicaciones recibidas en conversaciones mantenidas con técnicos del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), como órgano ambiental competente para la presente actuación. De tal manera, si bien Argentina carece actualmente de un Reglamento que defina el procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica de Planes y Programas, se le ha dado un enfoque puramente estratégico al Documento Ambiental redactado, de manera que sirva de marco de referencia para la redacción de los documentos ambientales que acompañen a los futuros proyectos ejecutivos que desarrollen cada una de las actuaciones planificadas en esta fase.

En primer lugar, se realizó un **diagnóstico ambiental** del área de influencia del Plan, analizando y describiendo los aspectos más destacables del medio físico (orografía, red hidrológica, clima, drenaje, geología, edafología,...), medio biótico (fauna, vegetación, espacios naturales), medio paisajístico, medio cultural y medio antrópico de Quilmes, identificando los **pasivos ambientales** existentes en la actualidad y exponiendo las problemáticas del área de estudio.

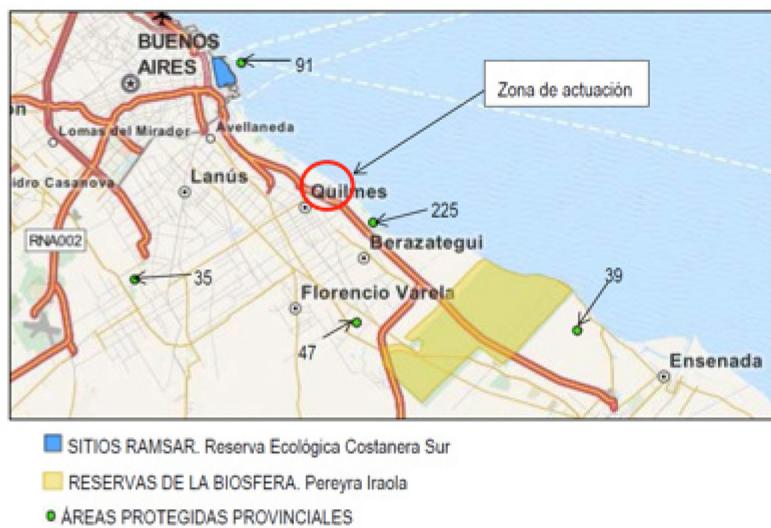


Figura 3 | Pasivos ambientales área de estudio.

Funcionamiento Institucional

El municipio de Quilmes se encuentra en proceso de transformación institucional, consecuencia del reciente cambio de equipo de gobierno.

Para obtener una aproximación de la situación económica – financiera del municipio de Quilmes se ha realizado un diagnóstico presupuestario mediante el análisis de los 3 últimos ejercicios completos (2013, 2014 y 2015).

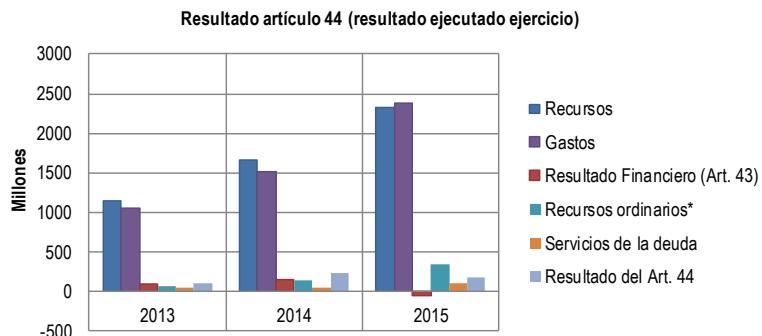


Figura 4 | Resultado ejecutado de los ejercicios 2013, 2014 y 2015.

Tras el análisis se concluye que la municipalidad de Quilmes no tendrá capacidad financiera suficiente para ejecutar las actuaciones incluidas en el Plan Maestro de Drenaje Pluvial de la Cuenca de Quilmes, debido a la magnitud del coste asociado. Por ello será necesaria otras fuentes de financiación como la financiación local, el Tesoro Nacional, Entidades de Crédito (BID, Banco Mundial – BIRF...) o la participación Público – Privada.

La **gestión de los recursos hídricos** en el municipio de Quilmes se realiza a través de la *Subsecretaría de Aguas, Cloacas y Saneamiento hídrico* (planificación hídrica, relevamiento de obras, operación de plantas de bombeo) y la *Subsecretaría de Servicios Públicos y Generales* que se integran dentro de la *Secretaría de Servicios Públicos*.

Reviste especial importancia la **gestión de emergencias y Sistema de Alerta Temprana** por la labor desarrollada durante los episodios de inundaciones producidas por sudestadas y/o lluvias, que se realiza por la *Subsecretaría de Emergencias y Protección Civil del Municipio de Quilmes*. En caso de un incremento del nivel de la alerta se establece el Comando Operativo de Emergencia (C.O.E.) en el lugar, que evaluará la situación, las necesidades de prestaciones y planificará las tareas hasta el cese de alerta.

INUNDACIONES. CAUSA Y EFECTO.

Origen de la Inundación. Eventos Extremos.

Las inundaciones, son consecuencia primordialmente de la circulación atmosférica, dominada en la región por el viento sudeste y conocida con el nombre de **sudestada**. Este fenómeno da lugar a una onda de tormenta, que se superpone sobre la marea astronómica alcanzando niveles de agua elevados.

También pueden estar ocasionadas por **eventos extremos de precipitación** y en algunos casos por la combinación de ambos eventos (aun siendo independientes probabilísticamente).

Se han analizado eventos extremos para los períodos de retorno de **2, 5, 10, 25, 50 y 100 años**, considerando para ello la **influencia del cambio climático** durante la vigencia del PMDP (30 años).



Figura 5 | Disposición geográfica del estuario del Río de la Plata.

La elevada recurrencia de inundaciones es una problemática que aqueja a los ciudadanos, resultado del incremento desordenado de la población de bajos recursos que se estableció de forma irregular y la construcción de la autopista de La Plata-Buenos Aires Quilmes (que por su diseño, faltó de un adecuado sistema de drenaje transversal para aguas pluviales, constituye una barrera a las aguas que escurren de los altos de Quilmes en episodios de lluvias intensas).

Además, dos procesos se suman a este tipo de medidas que son la creciente impermeabilización de los terrenos y el aumento de la deposición de residuos sólidos urbanos en canales u obras de drenaje los cuales merman la capacidad de desagüe de dichas infraestructuras

Las características morfológicas de la cuenca, así como el desarrollo urbano de la misma, ocasionan que ésta no presente en su área ribereña una red de drenaje natural bien definido, a lo que se le añade la reducción de la capacidad de desagüe de arroyos y canales por existencia de deposición de residuos sólidos urbanos, abundante vegetación en sus bordes y sedimentos en su fondo originados por la falta de mantenimiento y conservación.

Diagnóstico de la Problemática Actual. Modelización Hidrológica e Hidráulica.

Hasta este punto, se ha podido alcanzar una visión general de las características del área y de los fenómenos causantes de las catástrofes analizadas. Es, a partir de aquí, que resulta necesario fijar la atención en los efectos de tales eventos para posteriormente, dar pie al planteamiento de medidas correctivas y/o mitigadoras.

La evaluación del efecto, dinámica y consecuencias de las inundaciones se ha realizado mediante la utilización de herramientas **GIS** y el modelizado del comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca en los modelos **HMS** (modelo hidrológico que permite la modelización de la transformación lluvia escorrentía) e **IBER** (modelo hidráulico 2D, en el que puede simularse el comportamiento hidráulico de la cuenca siendo este modelo aplicable a zonas llanas con límites de subcuenca poco definidos).

Para describir la problemática de las inundaciones por suestada se empleará la imagen de la llanura de inundación para una suestada de periodo de retorno de 25 años. Realizar esta explicación sobre una imagen tan grafica de la problemática existente permite entender de forma clara la heterogeneidad de la problemática de la zona de análisis y el funcionamiento global y local de la cuenca de Quilmes.

En esta imagen podemos apreciar distintas zonas y problemáticas, que se han identificado según contornos de distinto color sobre la imagen.



Figura 6 | Llanura de inundación para sudestada de periodo de retorno 25 años

El contorno verde delimita la zona correspondiente al relleno sanitario (CEAMSE). Esta zona se caracteriza por tener una cota de terreno elevada. Esta gran elevación disminuye a medida que nos acercamos al río de la plata. Esta parte baja es la única que puede sufrir inundaciones por sudestada.

El contorno rojo, corresponde a la zona de Villa Alcira. Esta zona densamente poblada sufrirá inundaciones por sudestada extrema, debido a su baja cota topográfica.

La zona delimitada con contorno amarillo, corresponde a una zona poco urbanizada y de cota topográfica baja, lo que la hace altamente vulnerable a eventos de sudestada extrema. Esta zona abarca el asentamiento de la Ribera de Bernal (zona de escasa población situada en el borde costero), la planta potabilizadora de agua y el aeródromo militar.

El contorno naranja limita la zona aguas arriba de la autopista entre el barrio de La Ribera y la barranca (avenida Caseros y avenida Ceballos). Esta zona está expuesta a las sudestadas extremas y se verá inundada durante estos eventos, dado que las obras de drenaje de la autopista trasladaran la subida de nivel del río de la plata aguas arriba de esta infraestructura, provocando la inundación. Esta zona se encuentra altamente poblada siendo una zona sensible en cuanto a los daños que las inundaciones puedan occasionar.

La última zona en la que se ha dividido el ámbito en lo relativo a inundaciones por sudestada es la zona de La Ribera, delimitada en la imagen con contorno blanco. Esta zona presenta una alta vulnerabilidad ante eventos de sudestada extrema, por su cota topográfica. Su frente costero tiene una cota media en torno a los 2,5 m, nivel inferior al alcanzado por la sudestada de

periodo de retorno 2 años. La Ribera está perfectamente delimitada al norte por el Río de la Plata, al sur por la Autopista de La Plata, al Oeste por el canal Alsina y al este por los arroyos del Colorado.

Es una zona altamente poblada, donde el daño por inundaciones sumará elevadas cuantías, como puede apreciarse en la imagen adjunta.



Figura 7 | Vista aérea del barrio de La Ribera.

La zonificación realizada para sudestadas es compatible con un análisis y zonificación por lluvia extrema. Se adjunta a continuación la llanura de inundación para la avenida extraordinaria de periodo de retorno de 25 años.



Figura 8 | Llanura de inundación para lluvia de periodo de retorno 25 años.

Puede observarse como la zona del relleno sanitario apenas sufre inundaciones por esta avenida extraordinaria, al igual de lo que ocurría con la sudestada.

La zona delimitada por contorno rojo (Nuevo Quilmes, Villa Alcira, Las Flores,...) se ve afectada por inundaciones ocasionadas por precipitación extrema debido al comportamiento como barrera al de la autopista y sus obras de drenaje.

La zona naranja, tiene un funcionamiento equivalente a la anterior, presentando una gran afección por inundación ante avenidas extremas, condicionada por el efecto barrera de la autopista.

En el área delimitada por el contorno amarillo se puede observar una afección menor. Únicamente se verá afectado parcialmente el aeródromo militar, quedando sin afección tanto la planta potabilizadora como La ribera de Bernal.

En la zona de la Ribera (contorno blanco) puede observarse una gran afección de las inundaciones, desencadenada principalmente por los arroyos Colorado 1 y 2. Estos cauces reciben un importante caudal de agua y cuentan con cajas de reducidas dimensiones además de una pendiente prácticamente nula. Dado que la zona de La Ribera es una zona especialmente llana, con puntos bajos en su interior, en el momento en el que se produce desbordamiento en el arroyo Colorado la llanura de inundación que se genera es muy elevada.

A continuación se adjuntan imágenes correspondientes a las llanuras de inundación tanto de sudestada como de lluvia para periodo de retorno de 100 años, en las que se puede observar que el comportamiento de la cuenca es el mismo pero con mayores afecciones.

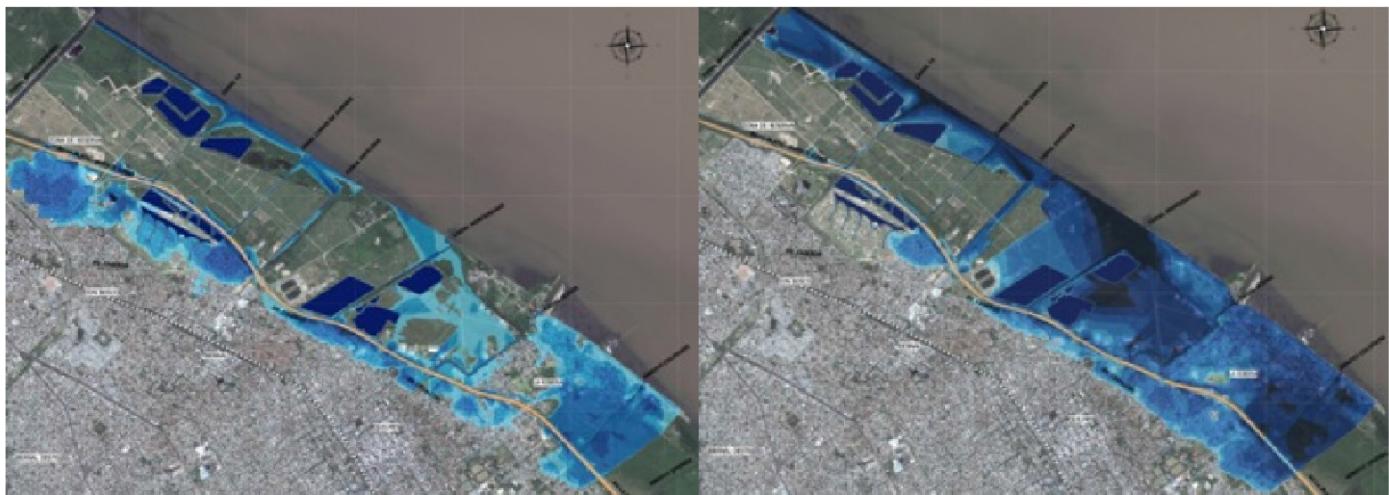


Figura 9 | Llanura de inundación para avenida (dcha.) y para sudestada (izq.) de periodo de retorno 100 años.

Otra particularidad de las inundaciones que tienen lugar en el ámbito de estudio es la alta duración y persistencia en el anegamiento de la zona, la gran mayoría de las zonas inundables presenta duraciones de inundación por encima de las 12h ante cualquier evento extremo, ya sea sudestada o lluvia. Esta alta duración en las inundaciones está motivada por dos forzantes:

- Las inundaciones por sudestada están originadas por ondas de tormenta cuya duración media se sitúa en torno a los 3 días, con tiempo de permanencia del nivel del río de la Plata por encima del umbral 2 m superiores a 24 h.
- Las inundaciones por lluvia están originadas por una escasa capacidad de desagüe tanto de obras de drenaje como de cauces y canales. En cuanto la inundación se produce el tiempo para evacuar toda el agua de la llanura de inundación una vez terminada el aguacero es muy elevado ya que los elementos de desagüe (cauces y canales) tienen escasa capacidad y pendiente muy reducida.

Se adjuntan a continuación mapas de duración de inundaciones para sudestada y lluvia extrema de períodos de retorno 50 años.



Figura 10 | Duraciones de inundación para avenida (dcha.) y para sudestada (izq.) de periodo de retorno 50 años.

OBRAS Y MEDIDAS MITIGADORAS DE DAÑOS Y VULNERABILIDAD.

A partir del diagnóstico de la situación del drenaje actual y del análisis de las manchas de inundación realizado, se establecen las directrices primarias de actuación en cuanto a tipo y origen de la problemática detectada. Las alternativas y actuaciones analizadas, se conciben desde un **Enfoque Integral** del Plan de Gestión de Drenaje Pluvial, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población en su conjunto y convertirse en una contribución al desarrollo sostenible de la zona. Dichas directrices se basan en el planteamiento y análisis de medidas no estructurales para dar solución a la problemática y, de forma complementaria, de medidas estructurales (conducciones y/o estructuras de protección y/o control). Estas medidas, en su conjunto, están encaminadas a mejorar el la eficacia del sistema de drenaje en cuanto a captación, transporte y vertido, y a evitar y/o mitigar los daños, mediante la planificación, prevención y/o alerta.

Medidas Estructurales

Las medidas estructurales comprenden el conjunto de obras que conforman el PMDP y que diseñadas con múltiples usos, complementan las medidas no estructurales para controlar los impactos actuales y futuros en una cuenca hidrográfica, para el escenario de riesgo adoptado.

Se han considerado de forma independiente las actuaciones necesarias para dar solución a los eventos de lluvias y de sudestadas, al ser fenómenos independientes estadísticamente. Para un periodo de retorno cualquiera, la probabilidad de que ocurra simultáneamente el episodio de lluvia extrema con el fenómeno de sudestada extrema es muy reducida, por lo que el dimensionamiento para ese caso sobredimensionaría las actuaciones de forma importante.

No obstante en las propuestas de actuación contra las sudestadas (para todos los periodos de retorno estudiados), se ha tenido en cuenta la posibilidad de una lluvia de periodo de retorno 2 años (por ser la que marca la DIPSOH en sus *Normas para Presentación de Proyectos de Desagüe* para conductos y obras de desagüe).

En la siguiente figura se indican las principales medidas estructurales adoptadas en el PMDP.

MEDIDAS ESTRUCTURALES

- Modificación obras de drenaje.
- Aumento sección y protección de márgenes de cauces.
- Canales aliviadores.
- Red colectores drenaje.
- Bombeos.
- Estanques de laminación.
- Estructuras de protección costera y fluvial antisudestada en zonas pobladas.

Las actuaciones propuestas resultan en obras concretas dentro del ámbito de estudio, estas obras forman el programa integral de actuaciones del plan. La siguiente imagen ilustra el programa completo de actuaciones. El programa de obras ha sido desagregado de tal forma que cada obra sea una actuación independiente (pueda ser ejecutada de forma independiente del resto de actuaciones) que solucione problemas de inundación sin generar efectos negativos aguas abajo u aguas arriba de la misma.



Figura 11 | Programa integral de actuaciones estructurales incluidas en el PMDP

Medidas No Estructurales

Las medidas no estructurales son aquellas medidas que no requieren actuación sobre los elementos que componen el sistema de drenaje. Estas medidas se pueden realizar sobre la propia cuenca, con la intención de limitar, minimizar y retardar la entrada de caudales de agua pluvial a la red de drenaje (orientadas por el concepto “impacto hidrológico cero”, entendiendo

como tal que el pico del caudal de escorrentía generado no se incremente como consecuencia de un aumento de la impermeabilización de la superficie). Las principales medidas no estructurales adoptadas en el PMDP son:

MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

- Mapas de Riesgo. Evaluación precisa del riesgo y el daño ocasionado por inundaciones.
- Sistema de Alerta hidrológica Temprana. Red de monitoreo y Planes de Contingencia.
- Modificación de Instrumentos Normativos. Ordenación Urbanística.
- Campañas de socialización
- Refuerzo Institucional
- Limpieza y Mantenimiento Cauces
- Escorrentía Superficial.

Nivel de Protección Óptimo de las Obras

Las medidas estructurales que forman el PMDP, han de ser dimensionadas para un nivel de protección óptimo. Este nivel de protección óptimo corresponde a aquel nivel de seguridad que minimiza el coste total anual de cada obra. El coste total anual de cada obra se evalúa como la suma del coste anualizado de inversión, operación y mantenimiento y el coste del daño anual esperado una vez ejecutadas las obras.

Según el desarrollo metodológico seguido y en virtud de la independencia de las obras destinadas a mitigar las inundaciones por lluvia frente a las inundaciones por sudestada, se obtendrán un nivel de protección óptimo para cada tipo de obra en virtud del tipo de inundación que mitiguen.

El desarrollo de esta metodología para la obtención del nivel óptimo de protección requiere de la **evaluación de los costes de inversión, explotación y mantenimiento, daños materiales, daños sociales y ambientales**, para ello mediante la utilización de herramientas GIS se realizaron mapas de peligrosidad, vulnerabilidad, duración, etc.

Las metodologías empleadas para el desarrollo de este análisis son las siguientes

- “Flood Risks to People, FD2321/TR1” del Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA)
- “The Appraisal of Human related Intangible Impacts of Flooding, FD2005/TR” del Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA)

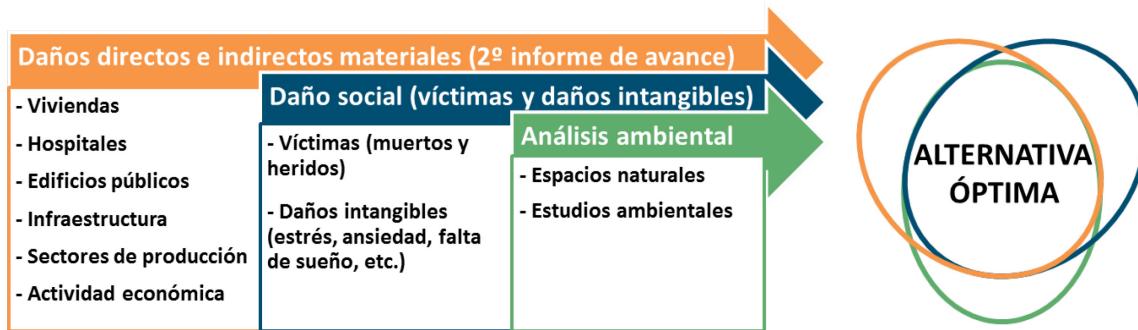


Figura 12 | Estructura para la evaluación de daños por inundación.

El resultado de la aplicación del método ha llevado a la obtención de los **niveles de seguridad o protección óptimos** para el diseño de las medidas estructurales, resultando como puede observarse en las gráficas adjuntas un nivel de protección óptimo asociado a eventos extremos de **lluvia de un periodo de recurrencia de 25 años (T25)** y **sudestada de un periodo de recurrencia de 100 años (T100)**.

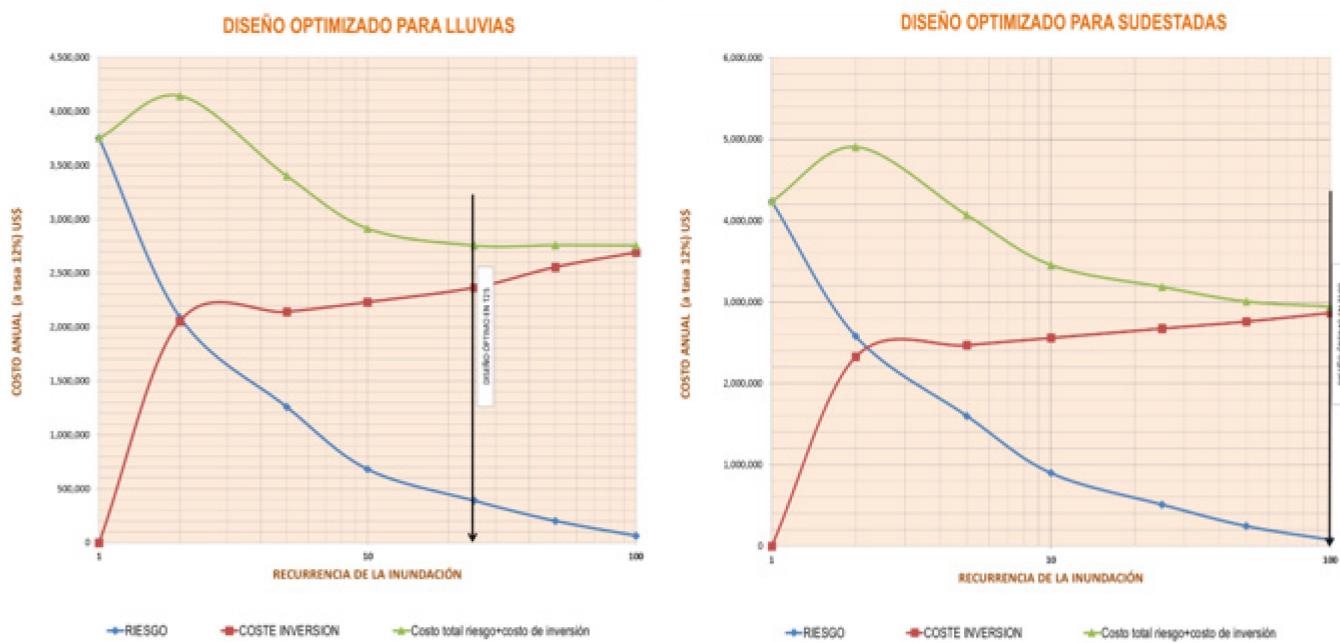


Figura 13 | Curvas de coste de inversión, riesgo y coste total anual.

A continuación se adjuntan las llanuras de inundación correspondientes a los eventos extremos de diseño óptimo, llanura de inundación para lluvia de periodo de recurrencia de 25 años y llanura de inundación para sudestada de periodo de recurrencia de 100 años.

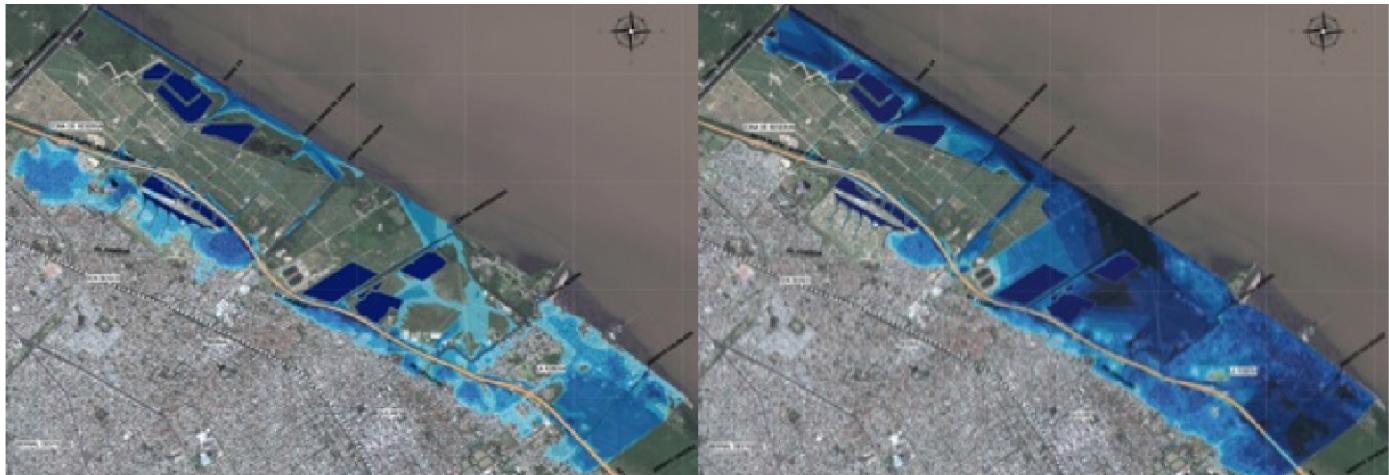


Figura 14 | Llanura inundación para lluvia periodo de retorno 25 años (izq.) y para sudestada periodo de retorno 100 años (dcha.).

Cronograma de Inversiones e Implementación del PMDP

Para la implementación del PMDP se ha establecido un periodo de inversión de 6 años, de acuerdo al coste de inversión de cada una de las obras y al calendario de implementación establecido de acuerdo a las prioridades establecidas se ha elaborado el correspondiente cronograma de inversiones, que recoge la inversión anual a realizar en los 6 años previstos para el implantación del PMDP.

Para evaluar la inversión y el coste total del PMDP a lo largo de su ciclo de vida, se ha realizado un análisis VAN en el que se incluyen tanto costes de inversión como costes de operación y mantenimiento con una tasa de descuento del 12 %.

La magnitud del coste de inversión requerido para la implantación del PMDP, hace necesario la identificación de posibles fuentes de financiamiento, de forma que no sea una única fuente la que financie la ejecución de las obras. Dentro de las posibles fuentes de financiación se han identificado 3 grandes grupos:

- Entidades de Crédito ya sean locales, extranjeras o multilaterales (Banco Interamericano de Desarrollo-BID, Banco Mundial-BIRF, Banco de Desarrollo de América Latina-CAF,...)
- Financiación Administración Local y Tesoro Nacional
- Participación Público-Privada

Independientemente de las fuentes de financiamiento final del PMDP, se deberá garantizar la canalización efectiva de los aportes de estos participantes, lo cual requerirá de un trabajo de coordinación para el mejor uso de recursos fiscales, del financiamiento externo, y generar incentivos que promuevan la gestión eficiente de las infraestructuras y alcanzar la sostenibilidad financiera del PMDP.

CONCLUSIONES

Con estos trabajos, se crearon las pautas para la **disminución de la vulnerabilidad** y la consecuente **adaptación a los eventos hidrometeorológicos** del área, **reduciendo los daños** a las personas, sus bienes, la infraestructura urbana y productiva, para **resolver los problemas de inundaciones** en armonía con el medio ambiente, cumpliendo además con la mejora de la capacidad de gestión de los organismos encargados de la explotación existentes en la ciudad.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como cooperación técnica para la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH).

REFERENCIAS

Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), Flood Risks to People, FD2321/TR1. UK.

Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA), The Appraisal of Human related Intangible Impacts of Flooding, FD2005/TR. UK.