

Libros de **Cátedra**

Ecosistemas y sociedad

Impactos de las urbanizaciones
sobre las cuencas hídricas

Alicia E. Ronco y Pedro Carriquiriborde

FACULTAD DE
CIENCIAS EXACTAS

e
exactas



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

ECOSISTEMAS Y SOCIEDAD

IMPACTOS DE LAS URBANIZACIONES SOBRE LAS CUENCAS HÍDRICAS

Alicia E. Ronco

Pedro Carriquiriborde

Facultad de Ciencias Exactas



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Dedicado a la memoria de la
Dra Alicia Estela Ronco

Agradecimientos

Este libro ha sido posible gracias al apoyo económico brindado por la Universidad Nacional de la Plata y la asistencia especializada de EDULP.

Se agradece muy especialmente a los Profesores de la UNLP que han enriquecido la obra con sus aportes y comentarios: Lic. Mirta Cabral; Ing. Guillermo, Jelinski; Lic. Edgardo Giani; Ing. Pablo, Romanazzi, Jueza Sandra Grahl y Arq. Isabel López y el equipo del CIUT.

Hay un libro abierto siempre para todos los ojos: la naturaleza

JEAN-JACQUES ROUSSEAU

Índice

Prefacio _____	8
<i>Pedro Carrquiriborde</i>	
Introducción _____	9
<i>Pedro Carrquiriborde</i>	
Capítulo 1	
Urbanización de las cuencas hídricas: Arroyos “Del Gato” y “El Pescado”, La Plata _____	11
<i>María Emilia Arruti y Luisina Dorsi</i>	
Capítulo 2	
Cambios a escala micro-climática: Islas de calor urbanas _____	28
<i>Nicolás Ronco</i>	
Capítulo 3	
Alteraciones sobre el ciclo del agua _____	48
<i>Ivana Stoeff Belkenoff</i>	
Capítulo 4	
Canalización de ríos y arroyos _____	61
<i>María Florencia Yorlano</i>	
Capítulo 5	
Escorrentías y contaminación de las aguas _____	73
<i>Bruno Caram</i>	
Capítulo 6	
Descargas cloacales y contaminantes emergentes _____	98
<i>Macarena Gisele Rojo</i>	

Capítulo 7

Legislación ambiental _____ 111

Darío Moyano

Capítulo 8

Integración de las problemáticas tratadas respecto a la urbanización
de las cuencas hídricas _____ 130

Pedro Carriquiriborde

Los autores _____ 139

Prefacio

Este libro surge como una iniciativa de los docentes del curso de postgrado y asignatura optativa de la Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de la Plata. En este marco, *Ecosistemas y Sociedad* tiene por objeto la divulgación de los trabajos monográficos que los estudiantes han realizado durante la cursada. El abordaje metodológico de casos-ejemplos permitió a los estudiantes articular los conocimientos y criterios incorporados a lo largo de sus carreras de grado, con nuevos criterios de selección, análisis, discusión, reinterpretación y comunicación de la información recabada. Dado que los estudiantes pertenecen a diferentes carreras, los casos-ejemplos son abordados desde diferentes ópticas. Como su nombre lo indica, la asignatura intenta plantear dichos casos-ejemplos desde el impacto que causan las actividades antrópicas sobre la función y la estructura de los ecosistemas. Asimismo se intenta esbozar las consecuencias en la sociedad que, pese a ser sumamente relevantes, escapan los alcances del curso.

En cuanto a su estructura, un primer momento de nuestro trabajo propone identificar las diferentes problemáticas que luego, en un segundo momento, cada estudiante se encargará de profundizar en su respectivo capítulo. Los trabajos monográficos aquí presentados no sólo se han realizado con el seguimiento de los docentes de la asignatura, sino que además se ha estimulado y aconsejado a los estudiantes para que consulten a especialistas en la temática. Se han seleccionado los trabajos finales del curso lectivo 2016. El caso-ejemplo abordado ha sido el impacto de las urbanizaciones sobre las cuencas hídricas, tomando como disparador la trágica inundación del Arroyo del Gato en la ciudad de La Plata, el 2 de abril de 2013. De los problemas identificados en clase, los estudiantes han seleccionado los siguientes temas: i) urbanización de las cuencas hídricas, ii) cambios a escala microclimática, iii) alteraciones en el ciclo del agua, iv) impacto de las canalizaciones, v) degradación de la calidad de las aguas por escorrentías, vi) contaminación de las aguas por efluentes cloacales, vii) legislación ambiental.

Se espera que la presente obra sirva no sólo de guía de estudio a los estudiantes de carreras afines sino también como material de consulta para todo aquel público que se esté interesado en profundizar sus estudios sobre la problemática asociada a las urbanizaciones de las cuencas hídricas, con foco en la salud de los ecosistemas y los servicios que éstos prestan al hombre. Por último, es importante destacar que los mismos respetan la mirada fresca de los estudiantes. Mirada a través de un ojo que se está iniciando en la materia, libre del prejuicio y del sesgo característicos del ejercicio profesional.

Pedro Carriquiriborde

Introducción

Las cuencas hídricas son unidades naturales delimitadas en la superficie de la corteza continental por la topografía. Dichas unidades establecen un sistema de drenaje único que conduce el agua a través de cauces que convergen hacia un punto común de descarga sobre un lago endorreico, un estuario o el mar. La naturaleza del suelo, las temperaturas y los niveles de humedad en la cuenca, establecen un crisol de ambientes propicios para el desarrollo de diferentes comunidades de organismos que, en conjunto, determinan el modo en que funcionan los ciclos de la materia y la energía, configurando así los diferentes ecosistemas que ésta alberga. Estos sistemas naturales son el producto de miles de millones de años de evolución en los cuales los organismos han ido cambiando y adaptándose a las condiciones ambientales bajo la presión selectiva de utilizar la materia y la energía eficientemente.

Desde su aparición en la tierra, el ser humano ha adquirido la capacidad de adaptar el ambiente a sus necesidades como modo de adaptación. Si bien esta cualidad -casi exclusiva de nuestra especie- le ha permitido colonizar los lugares más variados del planeta, representa una de sus mayores amenazas. Consciente de su singularidad, la especie humana no sólo se empeña en desafiar a la naturaleza con la tecnología que ella misma desarrolla: las sociedades actuales hacen un uso indiscriminado de los recursos y aceleran los ciclos de la materia y la energía ignorando el principio de eficiencia sobre el que han evolucionado los sistemas naturales.

Con más del 50% de la población viviendo en ciudades, las sociedades humanas han alcanzado un alto grado de alienación respecto de la dependencia que la especie humana tiene de la naturaleza y los servicios que los ecosistemas brindan. Esto provoca el uso poco consciente e inapropiado de dichos servicios; y en muchos casos, su agotamiento o destrucción es reemplazada por costosísimas soluciones tecnológicas que no contemplan los impactos ambientales directos e indirectos.

En nuestro país, los procesos de urbanización que se evidencian actualmente no escapan al comportamiento descrito sino al contrario, avanzan sobre el territorio ignorando casi por completo la aptitud ecológica del mismo. La planificación del uso del suelo, cuando existe, se hace casi exclusivamente sobre valores antrópicos y los planificadores suelen carecer de una formación ecológica sólida que les permita comprender el funcionamiento del sistema natural y optimizar su aprovechamiento. De este modo, podemos observar cómo prolifera la construcción de barrios cerrados en nuestra región sobre uno de los suelos

más productivos del mundo o, como es materia de este libro, se desarrollan urbanizaciones dentro de las planicies de inundación de los ríos.

Los costos de tales acciones rara vez son inmediatos, por lo que cuando se manifiestan suele ser demasiado tarde y el precio, en bienes materiales o en vidas humanas, muy alto. La trágica inundación del 2 de abril de 2013 en la ciudad de La Plata es una muestra de ello, y por tal razón se ha utilizado como disparador de la problemática tratada en este libro. De las diferentes aristas que posee el tema, ha resultado de interés describir el proceso de expansión urbana acaecido en las cuencas hídricas de la región del Gran La Plata. Así mismo, vincular el crecimiento de las ciudades con fenómenos micro-climáticos como las islas de calor e indagar si éstos son capaces de promover eventos pluviales extremos. La expansión de las ciudades altera el ciclo del agua reduciendo la evapotranspiración y la infiltración, y aumentando las escorrentías. De ello la importancia por el grado de incidencia de la alteración de los ciclos del agua en el incremento de las inundaciones. Una solución tecnológica a tal problema podría ser la canalización de los arroyos. Sin embargo, ¿cuáles son los costos y los nuevos problemas que acarrea dicha empresa? Como se mencionó anteriormente, la impermeabilización del suelo en las ciudades incrementa las escorrentías y éstas suelen arrastrar sustancias contaminantes hacia los arroyos. ¿Esto, puede degradar la calidad de sus aguas? Asimismo, las ciudades al actuar como grandes generadores de efluentes cloacales que son fuente de contaminantes convencionales y emergentes, ¿pueden contribuir al deterioro de la calidad de las aguas superficiales? En todos los casos ha resultado interesante discutir diferentes alternativas y estrategias de prevención, minimización, mitigación o remediación de los problemas. Ha surgido, además, la pregunta por la normativa que regula todos éstos aspectos en la región, si es adecuada y si realmente es implementada.

En materia de gestión de políticas públicas, si comparamos a Argentina con otros países de Europa o América del Norte, podemos ver que nuestro país encara el ordenamiento basado en la aptitud ecológica desde un enfoque ingenuo, poco riguroso, incluso utópico. Mientras en la década del 80 la Dra. Ronco -en nuestra universidad- comenzaba la pionera labor de formar profesionales dedicados a abordar problemáticas ambientales, en Norte América y Europa se trabajaba en la temática desde hacía 20 años. Producto de 30 años de investigación, los aspectos ambientales han sido apropiados por la comunidad, incorporados en la carta magna de nuestro país y demandados como un derecho ciudadano. En este sentido, el presente libro está orientado a complementar la formación de nuevos profesionales de las diversas disciplinas. Mediante ejemplos prácticos buscamos la aprehensión de conceptos básicos sobre el funcionamiento de los ecosistemas y los servicios que prestan. De esto último, nos interesa desarrollar y proporcionar diferentes modalidades de uso sostenible, en favor del bienestar común, subordinando la potencialidad de la tecnología a la maximización del uso eficiente de los recursos naturales y minimizando los efectos adversos.

Pedro Carriquiriborde

CAPÍTULO 1

Urbanización de las cuencas hídricas: Arroyo del Gato y Arroyo el Pescado en la localidad de La Plata

María Emilia Arruti y Luisina Dorsi

Para comprender la actual configuración del Gran La Plata (Fig. 1) y su relación con la organización social, económica y política del territorio es necesario referirnos esquemáticamente a dos situaciones estructurantes y su interacción: por un lado, su pertenencia a un sistema metropolitano y litoral y por otro, su rol como región capital. (López y Col., 2015). Estas condiciones, en un contexto de escasa planificación urbana, gran crecimiento de la actividad inmobiliaria, ocupación indiscriminada del territorio y los fuertes contrastes socio-territoriales, ayudan a explicar cómo es La Plata y comprender como es que ocurren las inundaciones.

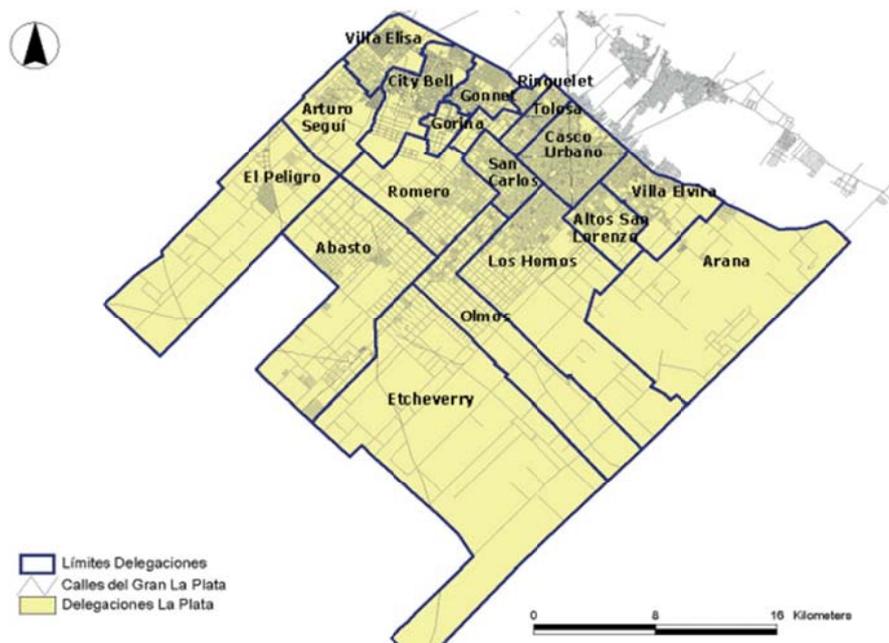


Figura. 1: Gran La Plata (Frediani, 2013)

La Región del Gran La Plata, se ubica en el extremo sur del litoral de la Región Metropolitana de Buenos Aires, ocupando una superficie de 1162 km². Su población es de 702.449 habitantes y comprende los partidos de Ensenada, Berisso y el Partido de La Plata (López et al,

2013). La geomorfología de la región se compone por tres macroformas desarrolladas en forma paralela al río (Figura 2). La más alejada y alta, también denominada Terraza, coincide con la urbanización del partido de La Plata. La macroforma intermedia, comúnmente denominada Bañado Maldonado, es la más baja de las tres y funciona como reservorio de agua en situaciones de inundación. Si bien es la macroforma menos antropizada, algunos sectores han sido modificados para el desarrollo del polo industrial o urbanizados en condiciones muy críticas (López y col. 2015). Por último, se encuentra el cordón litoral, cuya mayor altitud permitió el desarrollo de las ciudades de Berisso, Ensenada y Punta Lara (PNUD-SAyDS, 2012).

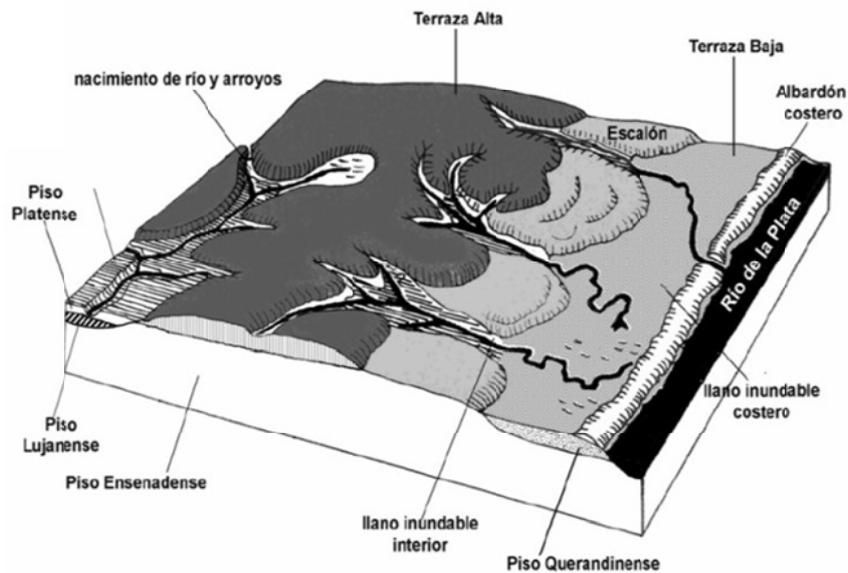


Figura 2: Diagrama de la geomorfología del sur de la región metropolitana. (Fuente: Informe PNUD-SayDS, 2012)

Un sistema de cursos de agua formada por dos vertientes cruza estas macroformas transversalmente y actúan como cuencos que conducen el agua desde las zonas altas hacia el río: la vertiente del Río de La Plata y la vertiente del Río Samborombón (Figura 3). La vertiente del Río de La Plata está integrada parcialmente de Noroeste a Sudeste, por las cuencas de los arroyos Pereyra y San Juan, y en su totalidad por las cuencas de los arroyos Carnaval, Martín, Rodríguez, Don Carlos, del Gato, Pérez, Regimiento, Jardín Zoológico, Circunvalación, Maldonado, Garibaldi y el Pescado. Para este trabajo, hemos tomado como ejemplo dos de estos arroyos: en primer lugar, el arroyo del Gato cuya red hidrográfica atraviesa el casco urbano más antiguo de la Ciudad de La Plata; en segundo lugar, el arroyo del Pescado, ubicado al Este de la ciudad, y que sólo en los últimos años ha comenzado a evidenciar la expansión de la urbanización sobre su cuenca. El arroyo del Gato se extiende por una distancia de 15 km en dirección Norte-Sur. Al llegar a la Planicie Costera, al Este de la localidad de Ringuet, ha sido canalizado para que sus aguas desemboquen en el Río de la Plata. En general, presenta tributarios bien desarrollados como el arroyo Pérez, el cual recibe, por su margen derecho, al arroyo

Regimiento. Por su parte, el arroyo el Pescado es un curso de agua permanente cuyo recorrido presenta, en gran medida, un rumbo Oeste-Este, cambiando a una dirección casi Sur-Norte a unos 7 km del cruce con la ruta 11. Se origina por la confluencia de dos cursos menores, en las proximidades de las vías del Ferrocarril General Roca, denominados arroyo del Sauce y otro sin nombre (CFI-PBA-MLP-UNLP-IGS, 2006)

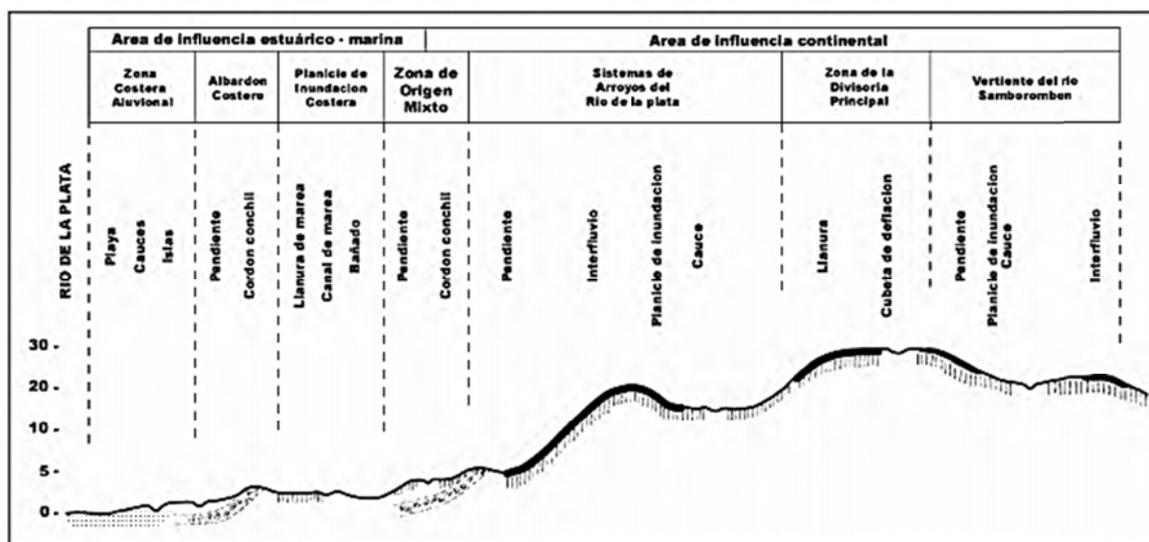


Figura 3: Perfil esquemático N-S desde el Río de la Plata hasta el límite con el Partido de Brandsen

(Fuente: CFI-PBA-MLP-UNLP-IGS, 2006)

Al igual que otros territorios litorales, el Gran La Plata concentra el asentamiento de importantes núcleos urbanos de diverso origen y disímiles procesos de conformación. Tal es el caso de Berisso y Ensenada cuyos orígenes sobre el borde costero están ligados a la actividad productiva, particularmente la portuaria. La Plata, en cambio, se funda a 10 km de la costa, más de un siglo después y es planificada como ciudad capital, es decir con claros fines político-administrativos (López et al, 2013).

López y Ríos (2015) señalan que, con el fin de desarrollar las actividades urbanas y periurbanas los arroyos fueron entubados o canalizados y deforestados e impermeabilizados sus bordes. Desde hace décadas el Gran La Plata atraviesa vertiginosos procesos transformación tanto en el territorio, como en el ámbito económico y social. Si se analiza dichos procesos con detenimiento podemos detectar que existe una tendencia a la polarización residencial, esto es, al crecimiento de urbanizaciones cerradas y hábitat informal. De este modo, y con un fuerte impulso del sector inmobiliario se configuró un dinámico y exclusivo mercado de segregación del territorio: en el casco urbano se densificaron y verticalizaron los suelos saturando, en algunos casos, la infraestructura; en otros casos podemos observar cómo la urbanización se extendió sobre gran parte del suelo periurbano, en áreas bajas y valles de inundación de arroyos. La urbanización de los arroyos Maldonado, del Gato y Rodríguez demuestra la magnitud de estos procesos de consolidación. En este contexto, el déficit habitacional va en aumento, de la misma forma que las condiciones críticas de la población más pobre. Los bordes de los arroyos, áreas

alejadas y sin infraestructura fueron apropiadas por los sectores más necesitados. La urbanización, la falta de áreas verdes absorbentes, la impermeabilización de la zona periurbana por actividades agropecuarias intensivas, en el marco de una planificación territorial escasa, son al menos parte de las causas que contribuyen a las inundaciones observadas en la región (López y Ríos, 2015).

Objetivos del capítulo

- Describir el avance de la urbanización en dos cuencas de la ciudad de La Plata (arroyo el Pescado y arroyo del Gato).
- Discutir las consecuencias del rápido desarrollo urbano -sin planificación- sobre los ecosistemas y sus servicios en ambas cuencas.

Descripción de la región y la problemática

La ciudad de La Plata no tuvo el crecimiento urbano dentro del casco fundacional tal como había sido pensado; al contrario, su desarrollo fue derrame en cuatro direcciones. Inicialmente lo hizo en las áreas periféricas y en distintos asentamientos ubicados sobre las principales vías de acceso. Luego, sobre corredores viales que conectaban los distintos asentamientos con espacios ferroviarios, dejando interrupciones sólo ante los casos de planicies de inundación de arroyos, cavas, grandes equipamientos y espacios destinados a la producción, y terrenos vacíos “expectantes” (Rocca y Ríos, 2012).

En su trabajo, Rocca y Ríos identifican claramente tres ejes de desarrollo urbano: el Noroeste, Sudeste y Sudoeste. Cada uno de estos ejes han tenido importantes incrementos poblacionales, los cuales, ayudaron a definir los rasgos distintivos desde el punto de vista social y urbano-ambiental, y a delimitar una periferia: En el eje Noroeste, se manifiestan tendencias que reciben el impacto de la región metropolitana de Buenos Aires a partir de la reestructuración económica y territorial, cambios en la infraestructura de comunicación (por ejemplo la ejecución de grandes obras como corredores viales y portuarios), ocupación residencial y la localización de grandes emprendimientos comerciales. Otro ejemplo –mencionado anteriormente- vinculado al eje de crecimiento que ha modificado las dinámicas naturales, son las cuencas hídricas. En el caso de la cuenca del arroyo del Gato, existe un mayor número de industrias, actividades de servicios y un incremento significativo de la urbanización y de la densidad de la población donde los asentamientos irregulares y la falta de control sobre su crecimiento han generado problemáticas difíciles de abordar. En el eje Sudoeste las modalidades de apropiación del suelo por parte de los sectores de escasos recursos, expresadas en asentamientos informales y villas muchas veces localizados sobre cursos de agua y espacio ferroviario, alerta sobre las nuevas condiciones de riesgo hídrico para la población. Dicho eje se caracteriza por una baja den-

sidad y ocupación dispersa. La localización de algunos conjuntos de viviendas por parte del Estado, como así también de asentamientos irregulares, las características de oferta de servicios e infraestructuras, definieron y consolidaron el perfil social medio y medio bajo de la periferia Sudeste. Este proceso de ocupación abarca la cuenca del arroyo Maldonado –en zona urbana- y una porción del territorio de la cuenca protegida del arroyo El Pescado, en la frontera entre territorio urbano y rural.

Es posible argumentar que este crecimiento urbano se rige por las diferentes políticas especulativas del mercado inmobiliario y por la imposibilidad, por parte de los sectores de bajo recursos, de acceder a la tierra. Esto supone que el proceso de expansión urbana sea continuo, disperso y sin ninguna planificación. En otras palabras, dichos procesos han avanzado sobre áreas periurbanas y rurales, subdividiendo parcelas en zonas aledaña a los arroyos para uso urbano. Sobre la planicie de inundación o –incluso- sobre los márgenes de los arroyos, se asientan muchos de los habitantes más pobres de la región. Como consecuencia, aumenta el riesgo de inundación al impedir que el agua escurra debidamente, al mismo tiempo que produce la degradación del medio natural.

Dorsi y col. (2015) explican que en materia de políticas territoriales -provinciales- vinculadas al crecimiento urbano, se puede observar que no siempre se han implementado debidamente y que los territorios en expansión no fueron necesariamente contemplados en los planes de ordenamiento, ni en las zonificaciones. En general, desde las normativas, los procesos de expansión urbana contemplaron una política de contención del crecimiento, a pesar de las dificultades y contradicciones que acarrea la implementación de políticas sectoriales de tierra y vivienda destinadas a sectores de escasos recursos. Otro ejemplo son las obras de infraestructura vial que, impulsadas por el sector privado, favorecieron el crecimiento y la formación de nuevas modalidades residenciales en áreas no previstas, como son los clubes de campo y barrios cerrados.

El Decreto Ley 8912/77 rige en materia de ordenamiento territorial como expresión de la política territorial de la Provincia de Buenos Aires. En él se consigna la clasificación de áreas urbanas, complementarias y rurales, y se definen las características y condiciones del proceso de expansión bajo la denominación de ampliación urbana. En el marco de la Ley 8912/77, el municipio de La Plata inició el proceso de planificación con la Ordenanza 4495/78, correspondiente a la Delimitación Preliminar de Áreas donde se demarcó el área urbana y la rural. Posteriormente, el desconocimiento en la periferia Sudoeste de los asentamientos poblacionales preexistentes, como así también las tensiones generadas por el mejoramiento de los corredores de acceso al casco urbano, determinan modificaciones en la normativa de este sector con la Ordenanza 8644/96. De la regulación de la Ord.4495/78 y de su modificatoria en año 1996, se deduce que crecen más las periferias al sur, se consolida la noroeste, y las tendencias de localización de clubes de campo que resultan admisibles en toda el área rural, se manifiestan particularmente en esta zona, en coincidencia con el mejoramiento de las condiciones de conectividad. En el año 2001, con la Ord.9231/01 se produce un cambio estructural de zonificación delineada por la 4495/78 y sus modificatorias, específicamente en lo

que respecta al crecimiento urbano por expansión, se amplía notablemente el área urbana, se define el área complementaria especificando en ella las zonas de reserva urbana y se delimitan zonas de clubes de campo distribuidas en distintos ámbitos del territorio (Dorsi y col., 2015; Municipalidad de la Plata, 2010).

En este contexto, el municipio de La Plata transita un proceso de planificación urbana basada en una serie de instrumentos normativos municipales y enmarcados en la legislación provincial, con el propósito de ordenar el crecimiento urbano para contribuir al mejoramiento de la ciudad. El abordaje de las nuevas formas de expansión urbana plantea nuevos problemas urbanísticos, cuya naturaleza y dinámica son diferentes a los de las áreas urbanas consolidadas. Estas tendencias hacia nuevas formas de expansión se observan particularmente en espacios de transición entre lo urbano y lo rural, y especialmente, al interior de éste último. Pero, ya sea por la intensidad de ocupación o por el grado de alteración de las condiciones ambientales o fundamentalmente por la falta de estrategias de ordenamiento, estos ámbitos pierden las potencialidades que los han hecho atractivos: condiciones ambientales, valores del suelo, entornos rurales, con buena conectividad, etc. (López y Ríos, 2015).

Para un análisis particular de la región, se tomarán las cuencas arroyo del Gato y el arroyo El pescado ya que la red hidrográfica de la región de la ciudad de La Plata se ve fundamentalmente influenciada por las cuencas de éstos dos arroyos. Asimismo, ambas cuencas nos sirven para ejemplificar y contrastar los grados de desarrollo de urbanización: en la cuenca del arroyo del Gato la urbanización está consolidada, mientras que la cuenca del arroyo El pescado se encuentra en vías de desarrollo.

Caracterización de la cuenca del “Arroyo del Gato”

Según el informe PNUD-SAyDS de 2012, la cuenca del arroyo del Gato tiene un área aproximada de 98 km² y su longitud es de 25 km. Su inicio comienza en las cercanías de la Ruta Provincial N° 36 en localidad de Lisandro Olmos, partido de La Plata, y atraviesa las localidades de Melchor Romero, San Carlos, Ringuet y Tolosa para, finalmente, desembocar en el Río Santiago (Figura 4). Si bien la región del arroyo se caracteriza por su conformación llana con suave pendiente en dirección Noreste, es posible distinguir dos zonas: la planicie costera y la llanura alta, separadas por un sector denominado escalón. La planicie costera es una franja paralela a la línea de la ribera del Río de La Plata; esta planicie actúa como recarga natural del agua subterránea. La llanura alta se localiza al Sudoeste de la planicie costera y por ésta se produce la infiltración de agua. La cuenca del arroyo del Gato nace en la llanura alta y se desarrolla hacia la planicie costera. El arroyo es semipermanente en su cabecera, próximo a la localidad de Abasto; a partir de Melchor Romero tiene un carácter permanente, extendiéndose por una longitud de 15 km en dirección Norte-Sur dentro la Llanura Alta.

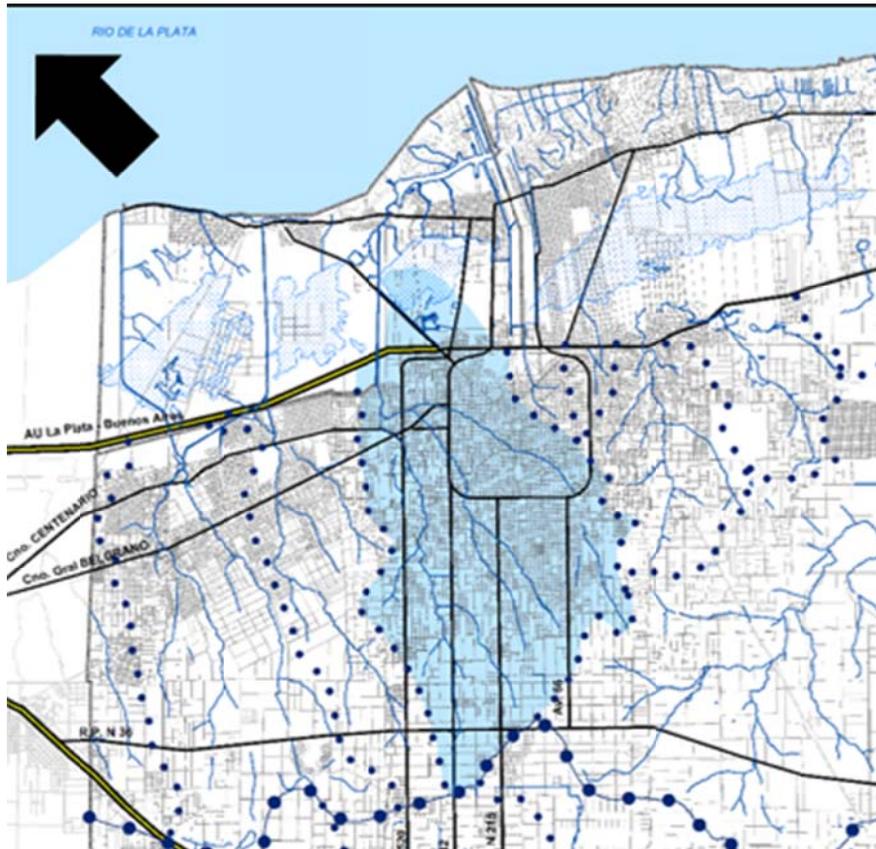


Figura 4: Delimitación de la Cuenca del arroyo "del Gato" (en celeste). Fuente: Información provista por el Centro de Investigaciones Urbanas y Territoriales (CIUT).

Respecto a las actividades desarrolladas por la población en la cuenca arroyo del Gato y el uso del suelo, se destaca el incremento de la expansión del área urbana sobre las planicies de inundación del arroyo, en especial en la cuenca baja y media.

En el tramo superior del arroyo se observa un avance del área urbana además de las actividades agropecuarias intensivas; la ocupación urbana se aprecia tanto en zonas con servicios sanitarios como carentes de ellos. En las zonas anegables algunas construcciones se efectuaron sobre-elevadas, producto del relleno de la superficie del suelo que en ocasiones conforma una especie de barranca que encajona parcialmente el cauce del arroyo (PNUD-SayDS, 2012). Según información del Centro de Investigaciones Urbanas y Territoriales (CIUT) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, la Cuenca del arroyo del Gato presenta una población estable que supera los 400 mil habitantes a lo largo de toda su superficie, cifra que comprende a aquellos asentados en la planta urbana del Gran La Plata. Las urbanizaciones en la región son de diversas características, desde edificaciones de numerosos pisos, pasando por casas y hasta viviendas informales. Este último tipo de construcción es característico tanto en villas como asentamientos, y son éstas unidades de hábitat las más vulnerables ya que generalmente se colocan en zonas anegables, sin servicios y con riesgo ambiental.

Actualmente en La Plata se identificaron 106 unidades de hábitat informal distribuidas en La Plata, 15 en Berisso y 12 en Ensenada. En conjunto la superficie

total asciende a 1.246,61 has., número que representa el 7,8% del área urbanizada de La Plata. Se constató que del total de 106 unidades de hábitat informal registradas en el territorio del Gran La Plata el 61%, o sea 65 unidades, se asientan en planicies de inundación de arroyos, de las cuales 14 se emplazan en los bordes de los cursos de agua, y 16 de estas, presentan riesgo hídrico por estar emplazadas en la ribera del arroyo del Gato (UNLP-SNAH, 2014)

Tales unidades de hábitat informal, se consideran de particular interés, por su gran crecimiento en los últimos años, porque son zonas que entran en conflicto con la materialización de obras hidráulicas y poseen riesgo ambiental ya que están situadas al borde de cursos de agua. Las más relevantes son: Villa arroyo del Gato, la cual se extiende a lo largo de la calle 514, y desde la Avenida 1 a la calle 6; La isla, ubicada entre las calles 514 y 515, desde calle 8 a calle 10. Por último, Villa Oculta ubicada en calle 514 entre Avenida 1 y calle 120. Los asentamientos antes mencionados pertenecen a la localidad de Ringuelet en el partido de La Plata (UNLP-SNAH, 2014; TECHO, 2013).

Según un estudio realizado por el CIUT, en la villa arroyo del Gato han constatado que la misma se desarrolla a ambos márgenes de un tramo del arroyo que va desde las vías del ferrocarril Roca, Avenida 1, hasta la calle 6. En cuanto a la accesibilidad el asentamiento cuenta con dos vías de circulación paralelas a éste (514 y diag. 514) y con todas las vías perpendiculares que están asfaltadas. La villa se emplaza en un barrio residencial consolidado sin respetar la trama urbana donde se observa que el arbolado ha ido disminuyendo conforme fue densificándose el área. En cuanto a los materiales utilizados en las construcciones, predominan los techos de chapa. Según imágenes de 2005, en ese momento se emplazaban 71 techos en un área que comprende los márgenes del arroyo. En el área más próxima a las vías – la más angosta- los asentamientos se extendieron hacia calle 6 donde el predio se ensancha y actualmente se ubican 199 techos con angostos pasillos internos de acceso, según una imagen de 2014. (Fig. 5).



Figura 5: Secuencia temporal de imágenes satelitales de "Villa Arroyo del Gato" donde se nota su crecimiento en la última década. (Fuente UNLP-SNAH, 2014)

Ubicado en una bifurcación del arroyo entre las calles 8 y 10, y de 514 hasta 515, se encuentra un asentamiento informal denominado La Isla. (Fig. 6). El asentamiento se encuentra habitado por una población en su mayoría extranjera. En una imagen satelital del año 2005, se contabilizaban 51 techos, mientras que en una imagen del 2016 el número ascendía a 136. Por estar las construcciones una junto a la otra, no es posible visualizar el arroyo desde la ribera. Las viviendas poseen servicio de luz y agua, que fueron tendidos por los propios habitantes. El asentamiento no posee colectora cloacal, volcando dichos efluentes directamente al arroyo. El servicio de recolección de residuos sólidos urbanos tiene una frecuencia de dos veces por semana (PNUD-SAyDS, 2012). La actividad económica principal es el *cirujeo*, la recolección y venta de cartón, vidrios y plástico. Algunos de los habitantes con más tareas de albañilería y servicio doméstico. También se constató la existencia de animales de cría, principalmente aves de corral. La presencia de caballos en la zona se vincula con la tracción a sangre de los carros de cirujeo.

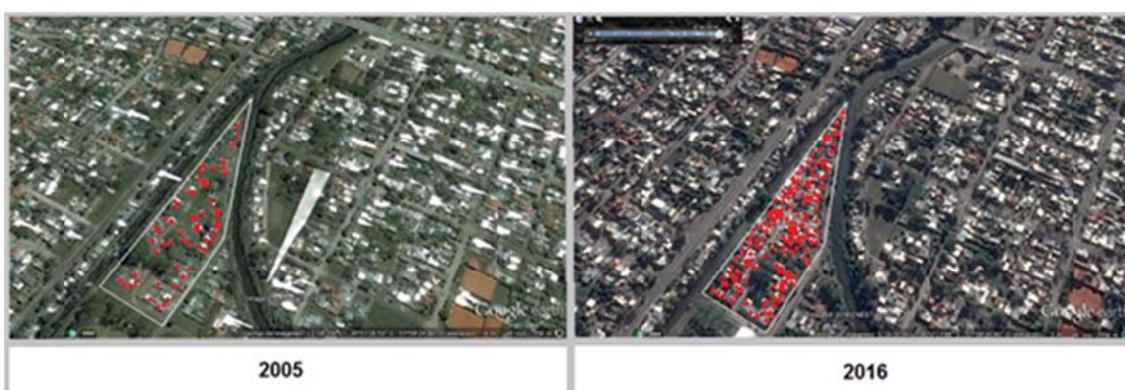


Fig. 6: Serie temporal del asentamiento la "Isla", donde se nota su crecimiento en la última década. (Fuente: Elaboración propia)

Por último, Villa Oculta se emplaza sobre el lado Oeste del arroyo del Gato y se desarrolla desde las vías del Ferrocarril, ocupando 550 metros aproximadamente hacia la autopista Buenos Aires-La Plata. Frente al polígono de la unidad habitacional informal, se encuentra el predio previsto para su relocalización, al lado del Mercado Regional de La Plata. La accesibilidad al predio es muy deficiente, ya que su único acceso es la calle paralela al arroyo, la cual cruza por debajo de las vías del tren y no se encuentra asfaltada. Las construcciones presentan un alto grado de precariedad en comparación con el asentamiento al otro lado de la vía. Se observan muchas construcciones en chapa y el área está muy degradada. Según imágenes de 2005 se contabilizaron 26 unidades mínimas de hábitat informal que comenzaron ubicándose de manera dispersa a orillas del Arroyo, y se extendieron en sentido longitudinal hacia la autopista llegando a 49 unidades en imágenes del año 2014. (Fig. 7)



Figura 7: Corte temporal de “Villa Oculta” donde se nota su crecimiento en la última década. Fuente: (Fuente UNLP-SNAH, 2014)

Todas las unidades de hábitat informal aquí analizadas cuentan con una buena accesibilidad al casco de la ciudad. Sin embargo, el alto grado de precariedad de las construcciones de estas villas, constituyen las condiciones dominantes que restringen la calidad de vida urbana de sus residentes. En este sentido, y en términos de localización se ha constatado también una relación directa entre los emplazamientos en estos territorios con el riesgo ambiental, por hallarse ubicados sobre un curso de agua que puede tener crecidas y por consiguiente, inundarse. Otro conflicto que presenta este crecimiento sin planificación, es la falta de servicios por parte del municipio; ninguna de las tres villas analizadas cuenta con desagüe cloacal por lo que tiran sus desechos al arroyo, contaminándolo. Además, la impermeabilización de los suelos por la presencia de techos que obturan el escurrimiento del agua, incrementan la escorrentía y reducen la recarga del acuífero; en otras palabras, modifican el ciclo hidrológico del agua. El aumento de la escorrentía superficial, ocasiona mayores crecidas del nivel del agua del arroyo y su desborde. En un caso así, los primeros damnificados son aquellos ubicados en las planicies de inundación. Las edificaciones en la planicie de inundación a su vez, alteran la topografía, entorpeciendo el flujo natural de agua y reteniéndola.

Caracterización de la cuenca del arroyo El Pescado

La cuenca del arroyo El Pescado se ubica al Sudeste de la ciudad de La Plata, a 18 km aproximadamente. Posee una superficie de 356 km² distribuida entre los partidos de La Plata (64,2%), Magdalena (33%) y Berisso (2,8%). (Figura 8). En las nacientes de los arroyos los suelos tienden a tener tenores bajo de sodio intercambiable, composición que cambia aguas abajo, al incrementar el contenido de sodio hacia la desembocadura. En otras palabras, la salinidad de suelo aumenta hacia la desembocadura. Por consiguiente, esta unidad es poco apta para el uso agrícola u hortícola justamente por el grado de salinidad que presenta y el elevado riesgo de inundación y anegamiento. El uso pecuario es posible sólo a un nivel extensivo y la forestación requiere una cuidadosa selección de las especies a implementar. A su vez, la uni-

dad plantea serias limitaciones para el uso urbano o industrial fundamentalmente por el riesgo de inundación, a lo que debe sumarse la presencia frecuente de arcillas expansivas y la posibilidad de riesgo de corrosión al acero o al hormigón.

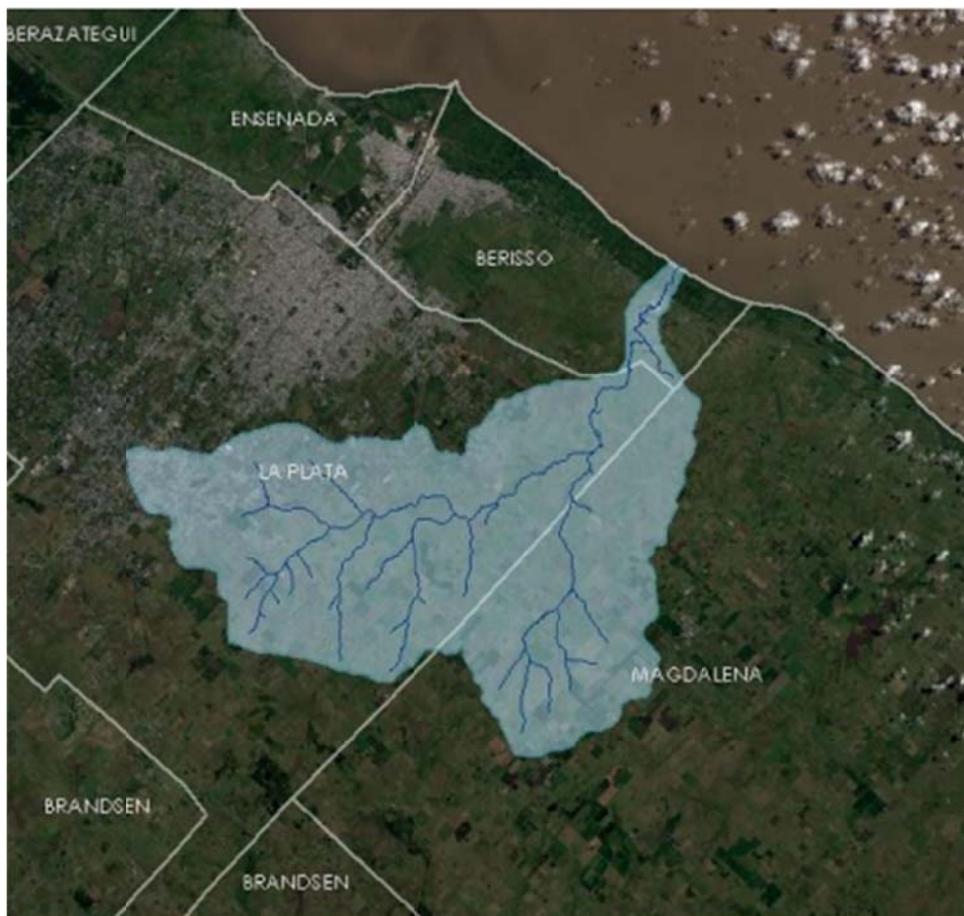


Figura 8: Cuenca del Arroyo "El Pescado". "(Fuente: Dorsi, 2015)

En cuanto a su urbanización, sobre la cuenca se observan algunos sectores que están afectados por el uso residencial dando lugar a pequeñas urbanizaciones dispersas. Lisandro Olmos, Arana, Poblet, Ignacio Correas y Villa Garibaldi se encuentran situadas dentro del partido de La Plata; mientras que General Mansilla y el paraje rural Los Naranjos se ubican en el partido de Magdalena y Alto de los Talas, en el partido de Berisso. (Figura 9). Debido a se trata de un área protegida por una Ordenanza Municipal puede considerarse a la cuenca del arroyo El Pescado como una cuenca que no ha sido severamente afectado por la urbanización. Sin embargo, en los últimos años se ha observado en ciertos sectores un importante proceso de urbanización que avanza riesgosamente hacia la planicie de inundación de la cuenca en de la cuenca, haciendo caso omiso a las normativas y la experiencia ocurridas en otras cuencas De modo que si estal tendencia continua podría provocar un proceso semejante al ocurrido en el arroyo del Gato.

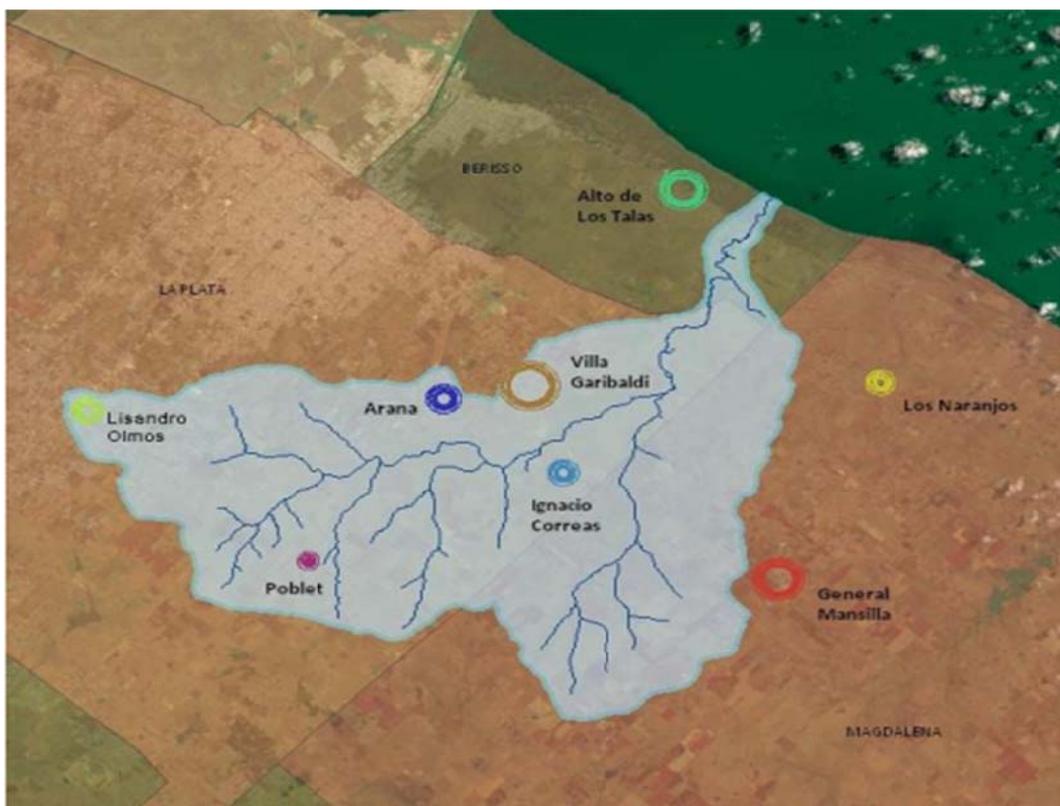


Fig. 9: Localidades dentro y próximas a la cuenca del arroyo "el Pescado" (Fuente: Dorsi, 2015)

Dorsi y col (2015) explican que Villa Garibaldi presenta características comunes y conforma un área integrada junto con las localidades de Ignacio Correa y Arana. Se trata de un área rural y semirural que suma aproximadamente una población de 2.500 personas. En el eje Sudoeste se encuentra la localidad de Lisandro Olmos, de 18.000 habitantes aproximadamente. Esta es una zona residencial, pero a su vez con una producción de plantas de huerta que la convierten en la zona hortícola más importante de la ciudad de La Plata. Las urbanizaciones de General Mansilla y del paraje rural Los Naranjos se sitúan a 30 y 20 km de la ciudad de Magdalena, con una población de 2.022 y 115 habitantes, respectivamente. Por último, la localidad de Alto de los Talas, en Berisso, posee una población de 494 habitantes.

Desde el punto de vista socioeconómico, la favorable condición de los suelos permitió la consolidación de un cordón productivo frutihortícola intensivo de importancia metropolitana. Por otro lado, el fuerte impulso del capital inmobiliario permitió configurar un mercado de suelos muy dinámico y exclusivo, que adquirió características distintas por sectores del territorio de la región. De esta manera, se urbanizó en forma extensiva gran parte del suelo periurbano y de áreas bajas, y su vez, de valles de inundación de arroyos con desarrollos de tipo extraurbano.

El uso del suelo en la cuenca en los últimos 10 años (período comprendido entre los años 2005-2015) se ha incrementado notablemente y se ha explotado con distintos fines: residencial, residencial extraurbano, comercial, equipamiento, recreativo, industrial, cavas, ladrilleras, uso específico, manzanas vacantes, agropecuario intensivo bajo cubierta y a cielo abierto, agropecuario extensivo y sin uso aparente. (Figura 10).

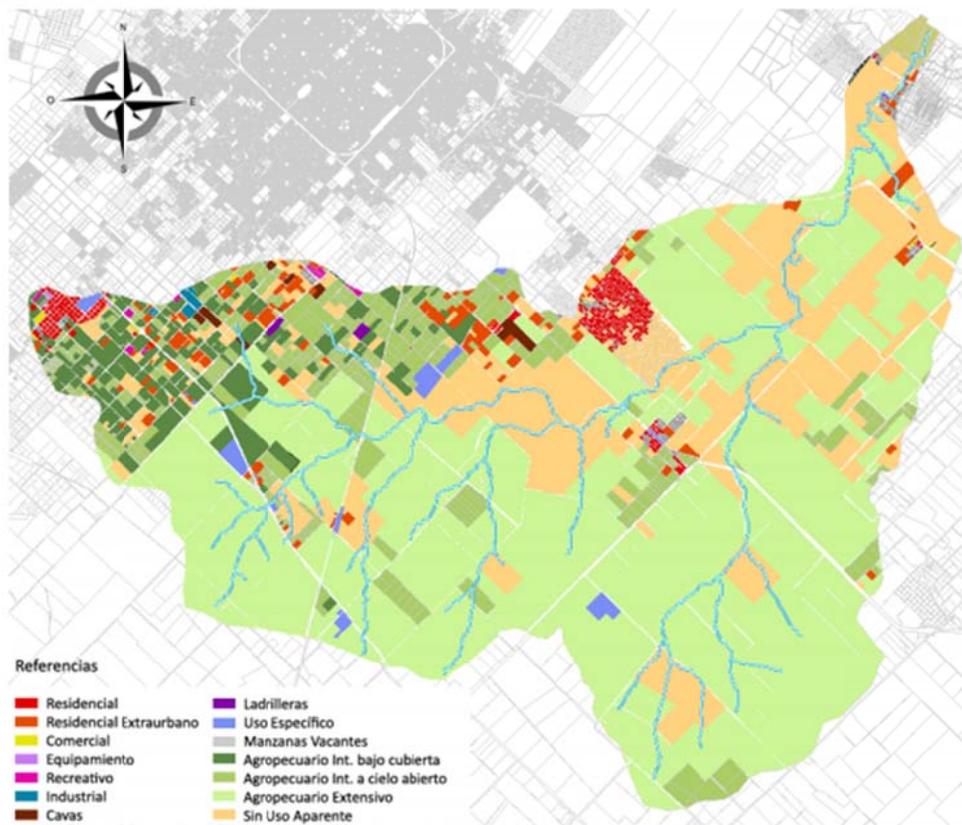
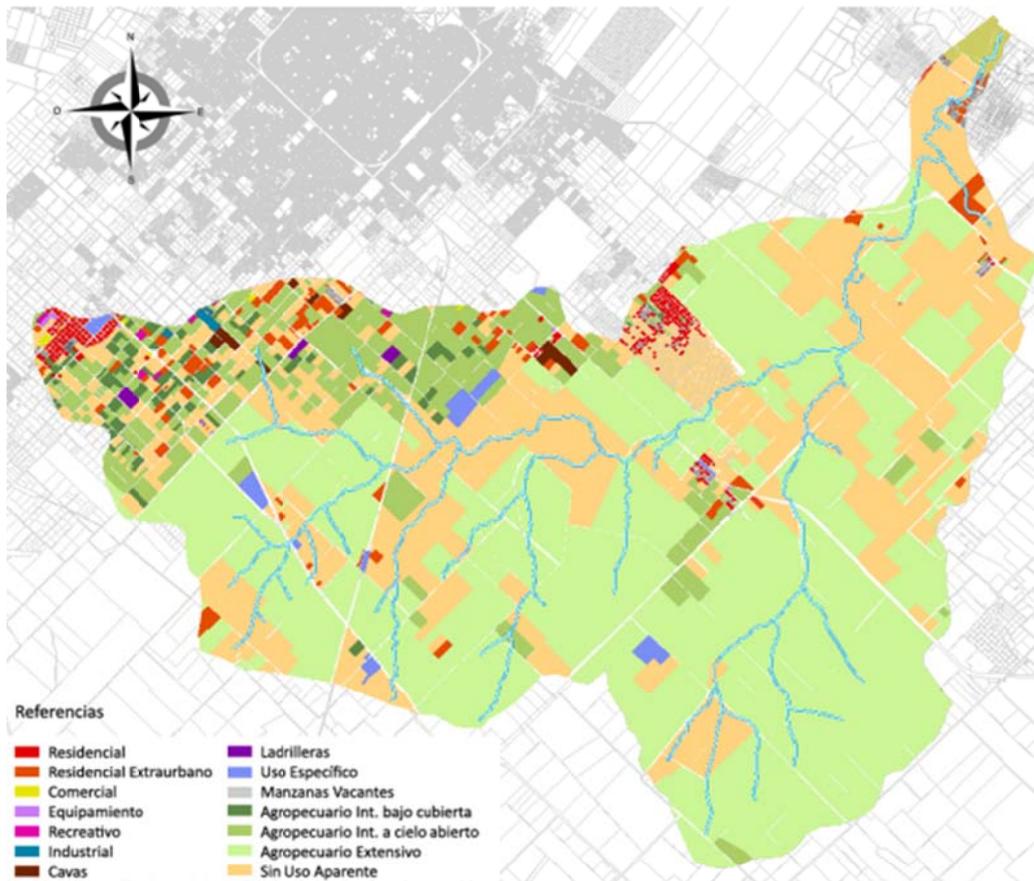


Fig. 10: Usos del suelo en al año 2005 y 2015 en la cuenca del arroyo "el Pescado" (Fuente: Dorsi, 2015)

En términos generales, podemos observar que existen usos variados sobre la cuenca predominando en la mayoría de su territorio el uso agropecuario extensivo. Asimismo, podemos contemplar el incremento de la actividad agrícola intensiva bajo cubierta que representaba el 1,51% de la superficie total de la cuenca en el año 2005 y el 5.7% en el año 2015, representando un incremento del 276% (de 515 a 1936 has) ocurrido particularmente en la parte alta de la cuenca, en el eje Arana - Lisandro Olmos. Por otra parte, la modificación de la agricultura intensiva a cielo abierto fue mucho menor, siendo de 9,7 y 10,3% en 2005 y 2015, respectivamente representado sólo un 6% de incremento (de 3303 a 3511 has). Los problemas asociados a la práctica de cultivo bajo cubierta es la impermeabilización de los suelos y el uso intensivo de fertilizantes químicos y plaguicidas, afectando los regímenes de agua y la contaminación de ésta, el suelo, la flora y la fauna.

Otro uso que representa un riesgo para el equilibrio natural de la cuenca es la presencia de cavas. Si bien el porcentaje es menor, apenas un 0,34% de la superficie total de la cuenca (116,93 ha), la extracción de tierra, al encontrarse próximo a la napa freática, puede llegar a afectar la calidad del recurso hídrico subterráneo, acarreando consecuencias adversas no sólo para el equilibrio ambiental sino también para la población.

El mayor porcentaje de uso de la cuenca lo representa la actividad agrícola extensiva, dicha actividad sufrió un incremento del orden del 5%. La labor agrícola extensiva incluye actividades agropecuarias con predominio de la ganadería de cría, tambos y agricultura. Podemos observar que dicho uso se localiza sobre el cauce principal de la cuenca y sus afluentes.

Por su parte, el uso residencial urbano y extraurbano suma un total del 3% de la superficie de la cuenca, incrementándose en un 48 y 21%, respectivamente. De esta manera, el uso residencial urbano pasó de ocupar 300 ha. en el 2005, a 442 ha. en 2015; en tanto que el extraurbano pasó de 624 a 754 hectáreas en el mismo período. Las localidades de mayor importancia son Lisandro Olmos y Villa Garibaldi y, en menor medida, Arana, Ignacio Correas y Poblet.

La mayoría de las actividades comerciales, industriales y recreativas se encuentran en las cercanías de Lisandro Olmos. La industria aumentó su superficie en un 41% contando en la actualidad con 50 ha., aproximadamente. Por otro lado, una de las actividades productivas dentro de la cuenca son las ladrilleras. En el 2005 constituían una superficie de 54 ha., mientras que en 2015 ese valor se redujo a 31,80 ha.

Como observamos en la Figura 10, hay una zona en la que las urbanizaciones tuvieron un mayor crecimiento por expansión en los últimos años, esta zona es Villa Garibaldi. En el año 2005 había una ocupación aproximada del 40% de su territorio mientras que, en el año 2015, se registró un incremento del 72%; de ello podemos deducir que hubo un crecimiento de su área cerca del 100% (Figura 11). Tal es así que sumado a las consecuencias que acarrea cambiar el uso del suelo de rural a urbano, las viviendas ya se alojan sobre la planicie de inundación del arroyo lo que hace que estemos ante una situación similar a lo ocurrido en el arroyo del Gato.

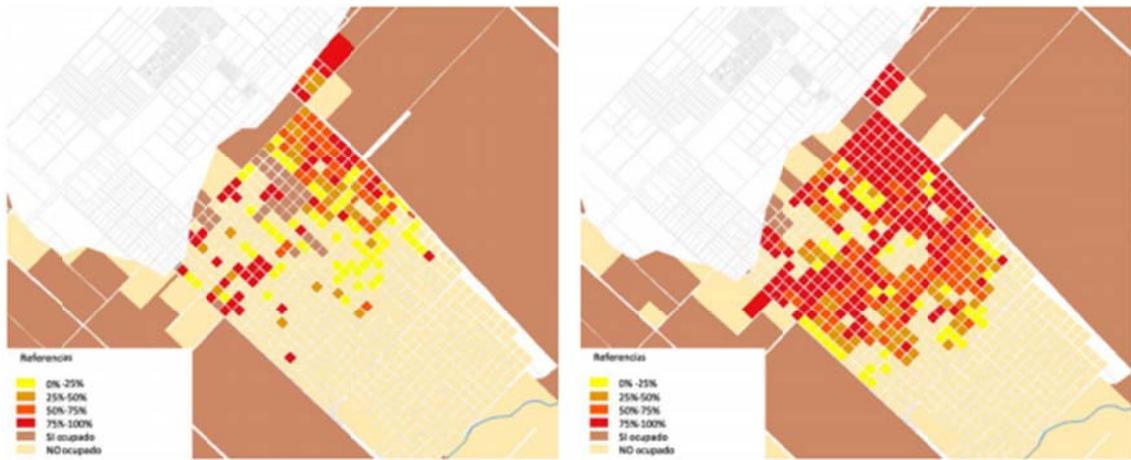


Fig. 11: Proceso de urbanización de Villa Garibaldi entre 2005 (izquierda) y 2015 (derecha). Cada color representa intensidad de ocupación. (Fuente: Dorsi, 2015).

De este modo, queda claro que comenzaron a consolidarse aún más las manzanas existentes al aumentar el número de parcelas ocupadas por cuadra y, a su vez, empezaron a surgir nuevas, muchas de ellas presentando un grado de consolidación más fuerte que otras. En definitiva, podemos decir que se produjo un gran crecimiento y consolidación en Villa Garibaldi, manteniendo un carácter residencial que se va expandiendo y acercando cada vez más hacia la zona del arroyo El Pescado.

Conclusiones

Por lo expuesto, sobre los procesos de urbanización desmedidos, se observa que la cuenca del arroyo El Pescado, a pesar de ser un arroyo protegido por diversas ordenanzas, corre el riesgo de sufrir una ocupación paulatina de la planicie de inundación, de un modo similar a lo ocurrido en arroyo del Gato, aunque la tipología de urbanización no llega a ser precaria, sino del tipo residencial.

En ambas cuencas se puede notar un rápido desarrollo urbano en zonas donde no debería haberlo, ya sea por falta de tierras a precios accesibles para aquellas familias con una condición económica baja, o por una ordenanza que lo impide. Este crecimiento desmedido genera diversos conflictos entre los que se destacan: la impermeabilización de la superficie del suelo por edificación o el desarrollo de actividades que necesitan de cubrir el suelo, la actividad agrícola bajo cubierta, la pavimentación de calles y vías rápidas de transporte que produce un cambio en los patrones locales de circulación del agua determinando una variación del volumen total, el aumento de la velocidad de la escorrentía y la disminución de la infiltración. Por otra parte, la modificación de la topografía natural producto de la elevación de los terrenos a edificar, modifican el patrón de circulación natural de agua, generando endicamientos. Otro problema grave que generan es que las urbanizaciones funcionan como islas de calor que modifican localmente el clima y los patrones de precipitaciones. Sobre los sistemas de agua subte-

rránea también los efectos de la urbanización son muy importantes. La disminución de la infiltración, producto de la pavimentación de las calles, o el uso de invernáculos en zonas rurales, altera la recarga natural de los acuíferos; también se produce contaminación en las napas por falta de redes de colección y transportes de efluentes cloacales, y la evacuación de excretas y efluentes domiciliarios e industriales a través de pozos filtrantes; la contaminación industrial volcada a cursos entubados, los rellenos sanitarios y depósitos de materiales peligrosos. A esto se suman los incidentes y accidentes con derrames de sustancias peligrosas durante la producción, transporte o utilización en la industria. Respecto a las construcciones realizadas sobre zonas anegables, estas deberán ser desalentadas en el futuro no sólo por las consecuencias que acarrea para la población, sino también por las modificaciones a la dinámica hídrica que pueden provocar serias perturbaciones aguas arriba. Las nuevas construcciones deberán respetar la zonificación propuesta por el Código de Ordenamiento Urbano, el cual sugiere que la creación de nuevas construcciones deberá ser en zonas baldías con acceso a todos los servicios (luz, agua potable, cloacas, etc.). También se aconseja promover el establecimiento de espacios verdes, para continuar de esa forma con una de las premisas que caracterizaron al casco urbano de la ciudad desde su fundación que favorece la infiltración de agua y así restaurar el ciclo hidrogeológico.

Bibliografía

- CFI-PBA-MLP-UNLP-IGS, (2006). *Análisis Ambiental del Partido de La Plata: Aportes al Ordenamiento Territorial*. Concejo Federal de Inversiones, Provincia de Buenos Aires, Municipalidad de la Plata, Universidad Nacional de la Plata, Instituto de Geomorfología y Suelos. pp 129.
- Dorsi, L., Ríos, L., Lancioni, A. (2015). *Procesos de Expansión Urbana e Instrumentos de Regulación Ambiental sobre Cuencas Hídricas. Caso Cuenca del arroyo "El Pescado"*. XXXIV Encuentro Arquisur. XIX Congreso: "Ciudades vulnerables. Proyecto o incertidumbre", La Plata 16-18 de noviembre.
- http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/51390/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- Frediani, J. C. (2013). "La problemática del hábitat informal en áreas periurbanas del partido de La Plata". En *Revista Universitaria de Geografía*, 22(1), 43-67.
- López, I. y Etulain, J. C. (2015). "Territorios vulnerables y riesgo hídrico por inundación en el Gran La Plata". En *XXXIV Encuentro Arquisur 2015 y XIX Congreso de Escuelas y Facultades Públicas de Arquitectura de los países de América del Sur (La Plata, Argentina)*.
- López, I., & Ríos, L. (2015). *Repensar La Plata: Ideas para la Cuenca del Arroyo del Gato. Una mirada al concurso de estudiantes*. La Plata: EDULP.
- López, I., Giusso, C.M., Juárez, M.L., Rotger, D.V. Velazco, E. (2013) "El Paisaje en el Gran La Plata: Ordenamiento, diseño y gestión (estrategias y escalas de intervención)" En *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 4(2): 149-156

- PNUD-SAyDS (2012). *Calidad ambiental de las Cuencas de los Arroyos del Gato y Pereyra Provincia de Buenos Aires, Argentina*. Proyecto Reducción y Prevención de la Contaminación de Origen Terrestre en el Río de la Plata y su Frente Marítimo Mediante la Implementación del Programa de Acción Estratégica de Freplata (No. ARG/09 G46). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Proyecto FREPLATA II de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). La Plata. 252pp
- Rocca, M. J., & Ríos, L. (2012). *Proceso de expansión urbana*. Ordenamiento Territorial en el partido de La Plata. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27051/Proceso_de_expansion_urbana.pdf?sequence=1
- TECHO (2013). *Relevamiento de Asentamientos Informales*. ONG Techo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. pp 168.
- UNLP-SNAH (2014). "Hábitat Informal en el Gran La Plata". Informe Subproyecto del Proyecto Tierras 1.SIG. Convenio Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo (UNLP-FAU) – Secretaría Nacional de Acceso al Hábitat, Presidencia de la Nación (SNAH). Buenos Aires, pp126

CAPÍTULO 2

Cambios a escala micro-climática: Islas de calor urbanas

Nicolás Ronco

Muchas áreas urbanas y suburbanas experimentan temperaturas más altas que las zonas rurales que las rodean. Esta diferencia térmica es lo que constituye una *isla de calor urbana* (ICU). A medida que se desarrolla una ciudad, se realizan cambios en el paisaje. Edificios, calles y otras infraestructuras urbanas reemplazan al campo y a la vegetación. Superficies que eran permeables y húmedas, se vuelven impermeables y secas. Todo esto lleva a la acumulación de energía durante las horas de sol, que se libera luego lentamente impidiendo que bajen las temperaturas.

La ICU de una ciudad puede caracterizarse a través de su intensidad, forma y localización del máximo térmico. La intensidad de la ICU se evalúa como la diferencia observada en un instante determinado entre la temperatura medida en el centro de la ciudad (T_u) y la del área rural próxima (T_r). Esta intensidad varía con la hora del día y la estación del año, dependiendo también de factores meteorológicos como el viento y la nubosidad, y factores urbanos como la densidad de población o el tamaño de la ciudad. En general, la máxima intensidad se produce entre 4 y 6 horas después de la puesta del Sol mientras que durante el mediodía y las primeras horas de la tarde la diferencia suele ser mínima e incluso, en algunas ciudades como Buenos Aires la temperatura urbana puede ser inferior a la rural. Este fenómeno inverso suele denominarse *isla fría*. Así mismo, la máxima intensidad se observa generalmente durante el invierno, especialmente en ciudades con inviernos muy fríos.

Introducción

La temperatura media anual de una ciudad con 1 millón de habitantes o más puede ser entre 1 y 3 °C superior a la media anual de la zona rural circundante. Esta diferencia incrementa en la noche, especialmente si esta es calma y despejada, pudiendo llegar a ser de 12 °C. Las ciudades pequeñas no están ajenas a generar islas de calor, aunque la intensidad de la ICU generalmente es mayor en las metrópolis. A su vez, la morfología urbana puede modificar la intensidad del fenómeno.

En las Figuras 1 y 2 se esquematiza de dos formas distintas el comportamiento general: la temperatura se distribuye de forma tal que los valores más altos se registran en el área céntrica, donde las construcciones forman un conjunto denso y compacto. En consecuencia, las isotermas presentan generalmente una disposición concéntrica alrededor del centro urbano, con temperaturas que tienden a disminuir hacia las regiones menos construidas.

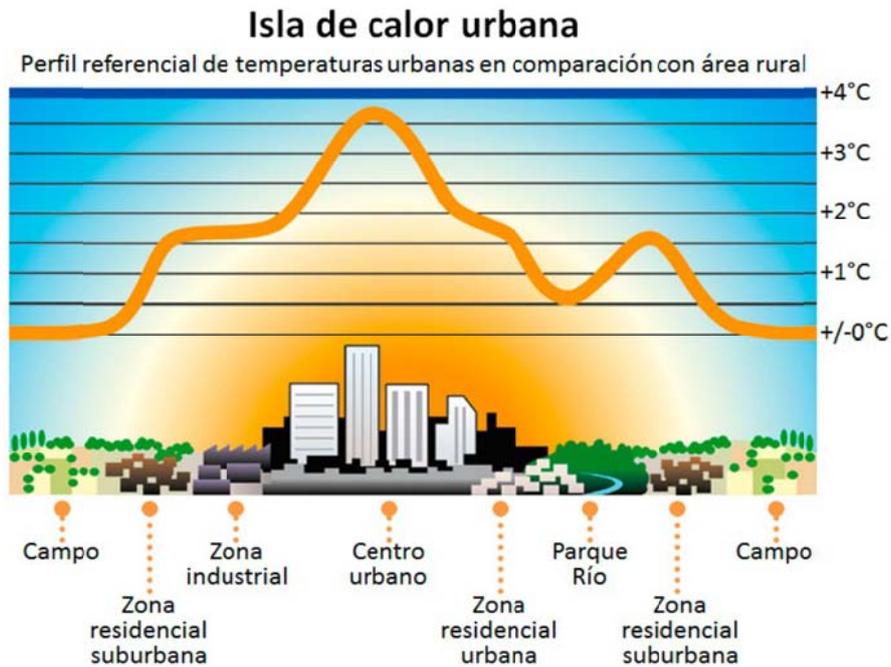


Figura 1. Perfil de temperatura en una zona urbana, suburbana y rural (Fuente: www.arquitecturayenergía.cl).



Figura 2. ICU atmosférica durante la noche, totalmente desarrollada. La línea roja indica el eje en el que fueron registradas las temperaturas. La temperatura del aire normalmente se mide a través de una densa red de puntos de muestreo, sean estaciones fijas o móviles (Fuente: Adaptado de EPA 2008).

Se pueden diferenciar dos efectos de las islas de calor urbanas: el superficial y el atmosférico. La diferencia entre ambos radica en el impacto que tienen y en los métodos disponibles para mitigarlos.

Islas de Calor Urbanas superficiales

En un día de verano soleado y caluroso, el sol calienta las superficies urbanas expuestas, como terrazas y pavimento, a temperaturas mucho más altas (entre 27 y 50 °C) que la del aire. Por otro lado, las superficies húmedas o que están a la sombra (normalmente en el entorno rural) presentan temperaturas cercanas a las del aire. Si bien este tipo de ICU (Figura 3) existe tanto en el día como en la noche es más intenso durante el día, cuando el sol está brillando. En promedio la diferencia de temperaturas superficiales durante el día, entre zonas urbanas y rurales, es de 10 a 15 °C; durante la noche esta diferencia es menor, de entre 5 y 10 °C. Además, este efecto es más pronunciado durante la temporada de verano, cuando el sol es más intenso.

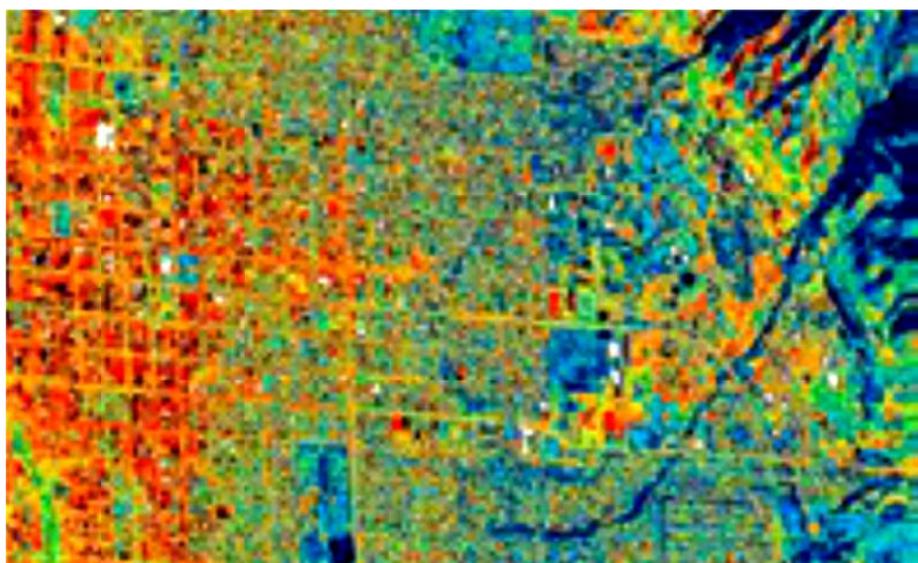


Figura 3. Imagen mostrando una isla de calor superficial. Las zonas blancas indican temperaturas cercanas a los 70 °C (urbe), mientras que las zonas azules (campo) tienen temperaturas cercanas a 30 °C (Fuente EPA 2008).

Islas de Calor Urbanas atmosféricas

Este efecto es la diferencia entre la temperatura del aire en áreas urbanas y la menor temperatura de áreas rurales cercanas (Figura 4). A su vez, se clasifica en dos tipos: capa baja y capa frontera. La primera, está constituida por el aire donde vivimos y se extiende desde el suelo hasta la cima de los árboles y edificios. Este efecto es el que mayor impacto posee en el desarrollo de nuestra vida diaria. La segunda capa, se extiende desde el final de la anterior hasta el punto en donde el entorno urbano ya no tiene influencia sobre la atmósfera (este límite

superior es alrededor de 1,5 km). Si bien este efecto es débil cerca del mediodía y la tarde, y se potencia luego del atardecer debido a la lenta liberación de calor por parte de los edificios y pavimentos, no debemos olvidar que depende de las propiedades particulares de la urbe, del tiempo y de la estación.

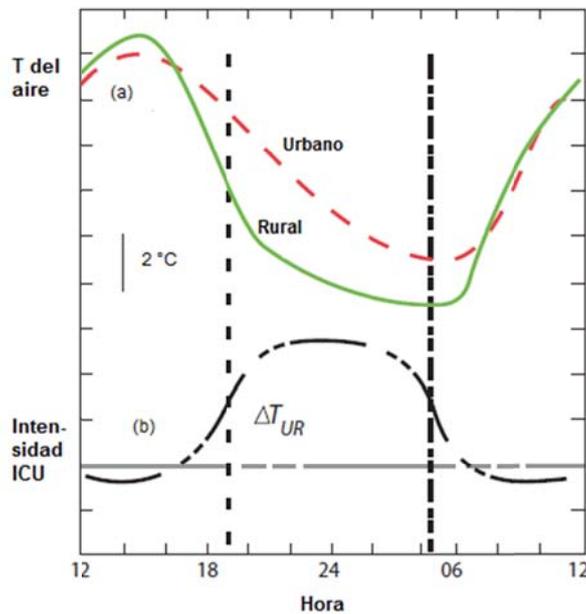


Figura 4. Esta figura muestra la evolución temporal de una ICU atmosférica. (a) evolución de la temperatura en cada zona (b) diferencia de temperaturas entre zona urbana y rural en una jornada despejada y calma. La Intensidad de la ICU es mayor cerca del atardecer (Fuente Adaptado de EPA 2008).

En la Figura 5 se comparan las curvas de temperatura de las islas de superficie y atmosféricas. Más allá de esta clasificación, es importante resaltar que ambos fenómenos se dan simultáneamente y se encuentran relacionados: especialmente el efecto superficial y el atmosférico de capa baja, es decir, la parte del aire que es más cercana a la superficie del suelo.

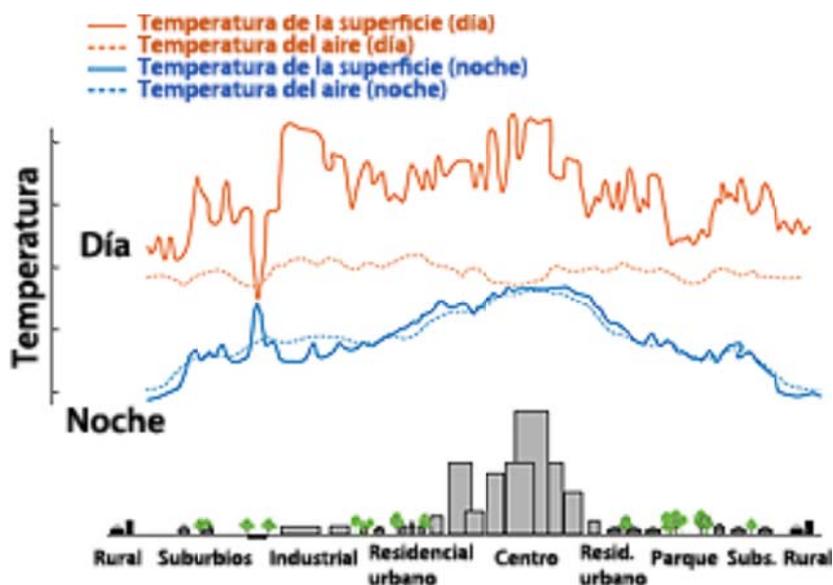


Figura 5. Las temperaturas de la superficie varían más que las del aire durante el día, pero a la noche ambas son muy similares (Fuente Adaptado de EPA 2008).

Isla de Calor Urbana y Calentamiento Global

Las ICU son ocasionadas por el desarrollo y los cambios en las propiedades térmicas y de radiación de la infraestructura urbana, así como por el impacto que tienen las construcciones sobre el micro-clima local: por ejemplo, los edificios altos pueden disminuir la velocidad a la cual las ciudades se enfrían durante la noche. Además, este fenómeno es influenciado por la localización geográfica y clima de la ciudad y su intensidad varía según el día y la época del año.

La diferencia fundamental entre el efecto de una ICU y el calentamiento global es que el cambio climático en el primero está limitado a una escala local y disminuye al alejarse de la fuente (ciudad). A diferencia de esto, el calentamiento global es un aumento en la temperatura promedio de la atmósfera terrestre, ocasionado por diversos factores naturales y humanos pero principalmente por la alta emisión de gases de *efecto invernadero*. El incremento de las temperaturas es sólo una de las consecuencias del cambio climático global, junto con el cambio en el nivel del mar y la alteración del patrón de las precipitaciones, entre otros.

No obstante, las medidas para reducir el efecto de las ICU producen múltiples beneficios, incluyendo la reducción en la demanda de energía y la contaminación del aire, contribuyendo así también a la reducción del cambio climático global.

Causas

La urbanización, sobre todo cuando se lleva a cabo sin una planificación que contemple el impacto ambiental, genera este efecto a través de factores que están relacionados e interactúan entre sí aumentando la magnitud del fenómeno. La inherente destrucción de áreas verdes, el uso de materiales de baja reflectancia en la construcción, la impermeabilización y pavimentación de suelos, el uso excesivo del automóvil y el consumo descuidado de energía en los hogares son las principales causas.

Reducción de la vegetación en áreas urbanas

Como sabemos, los árboles proveen sombra y esto ayuda a disminuir la temperatura del ambiente. Pero no la única manera de bajar la temperatura de la superficie. La evapotranspiración es un proceso por el cual las plantas liberan agua al entorno disipando el calor (calor latente, que se siente como humedad). En contraposición, las áreas urbanas se caracterizan por presentar áreas impermeables y secas tales como techos, terrazas, calles, etc. Con el desarrollo de las ciudades, la vegetación se disipa y, con ella, desaparecen las superficies permeables, la sombra y la humedad que, como dijimos anteriormente, favorecerían el enfriamiento del ambiente urbano.

En este sentido, una ciudad con pocos espacios verdes, es una ciudad con poca capacidad de evapotranspiración y de infiltración, esto último como consecuencia de las alteraciones en el ciclo del agua. Esto, favorece la escorrentía lo que, a su vez, ocasiona la contaminación difusa del agua.



Figura 6. Museo de Ciencias Naturales (arriba) e Hipódromo (abajo) de La Plata. Parte del Bosque fue cedido para estas construcciones.

Propiedades de los materiales de la infraestructura urbana

Las propiedades de los materiales de construcción, en particular la reflectancia, la emisividad térmica y la capacidad calorífica, también afectan al desarrollo de una ICU ya que determinan la cantidad de energía solar que acumulan. El 5% de la radiación que llega del sol pertenece a la región ultravioleta, el 43% es de la zona visible y el resto infrarroja. Todas estas radiaciones contribuyen a la formación de una ICU. La reflectancia solar es el porcentaje de la energía solar que refleja una superficie. Esta depende en parte del color de dicha superficie: las

más oscuras suelen presentar reflectancias menores que las de colores suaves. Entonces, de aquí surge una posible alternativa para reducir el efecto de ICU: utilizar materiales de colores *fríos* o pigmentos especialmente desarrollados para que reflejen la radiación infrarroja.

En general, las zonas urbanas utilizan materiales con menor reflectancia que los presentes en zonas rurales. Como resultado, aumenta el porcentaje de radiación absorbida, lo que aumenta la temperatura de las superficies y contribuye a la formación de una ICU superficial y atmosférica de capa baja. Otra propiedad importante es la capacidad de acumular energía. Los materiales de construcción poseen altas capacidades, lo que convierte a las ciudades en almacenes de calor muy efectivos. Zonas densamente pobladas pueden absorber y almacenar dos veces la cantidad de calor que absorbe el ambiente rural.

Calor antropogénico

Este es el calor generado por las actividades humanas y contribuye a la formación de ICU atmosféricas.

Entre sus fuentes podemos mencionar la energía empleada para calefaccionar y enfriar ambientes, electrodomésticos, medios de transporte y procesos industriales. Estas cantidades varían según la ciudad, siendo las más pobladas las que más calor producen. El calor antropogénico no es importante en las zonas rurales y puede ser un aporte significativo a la diferencia de temperaturas, sobre todo en invierno. El efecto se presenta prácticamente en todas las ciudades del mundo, en diferente medida dependiendo del macro y meso clima, y de las características urbanas, pero generalmente es más fuerte cuanto más grande es la urbe.

Geometría Urbana

La forma de las ciudades influye sobre el flujo del viento, la cantidad de energía absorbida y la cantidad que se libera efectivamente de nuevo al espacio. En áreas urbanas muy desarrolladas, los edificios suelen estar rodeados por otros y se convierten en grandes masas calientes que no pueden liberar su temperatura en exceso, debido a dichas obstrucciones. Esto es especialmente importante a la noche, cuando el aire en esta zona se calienta por contacto con dichas superficies. En general, las máximas temperaturas tienden a encontrarse a sotavento del área más densamente construida. Esto está relacionado con lo que suele llamarse *cañones urbanos*, es decir, calles angostas bordeadas por edificios altos y muy cercanos entre sí. Durante el día el efecto de estos cañones es dual: por un lado, pueden dar sombra y reducir la superficie que absorbe radiación solar. Por otro, cuando la radiación alcanza la profundidad del cañón, la energía se refleja múltiples veces hasta que es absorbida por las paredes aumentando su temperatura (disminuye la reflectancia neta), en lugar de reflejarse hacia la atmósfera.

Por la noche el efecto es completamente negativo, pues estas estructuras dificultan el enfriamiento por emisión de radiación o por entrada de flujos de aire frío.

El efecto de la geometría urbana en la formación de ICU se describe a través del *Factor de Visibilidad del Cielo* (FVC), que representa al área del cielo visible desde un punto dado de la superficie. Este factor varía entre 0 (situación parecida a los cañones urbanos) y 1 (espacios abiertos). Los edificios y demás construcciones absorben la radiación de onda corta y la emiten luego como radiación de onda larga. En zonas con un FVC pequeño esta radiación se refleja y es reabsorbida por construcciones linderas, impidiendo que el calor sea liberado.

Otros factores

Existen dos factores respectivos al clima relevantes para la formación de ICU: el viento, y la nubosidad. En general, las ICU se forman durante periodos sin viento y cielo despejado, pues así se maximiza la cantidad de energía solar que llega a la superficie urbana, y se minimiza la cantidad de calor que pierde por convección.

La ubicación geográfica es otro factor, en cuanto determina la topografía y el clima de la ciudad. Distintos factores habrá según si está emplazada en un valle, junto a un río, un lago o el mar. Por ejemplo, grandes cuerpos de agua ayudan a mantener la temperatura baja (ver figura 2) y además pueden generar vientos que arrastren el calor.

Cuando la velocidad del viento es moderada, la ICU suele deformarse y orientarse en la dirección en la que sopla el viento. Cuando la velocidad del viento aumenta, la diferencia de temperatura urbana-rural disminuye. De esta forma pueden alcanzarse velocidades críticas a partir de las cuales la ICU no se desarrolla.

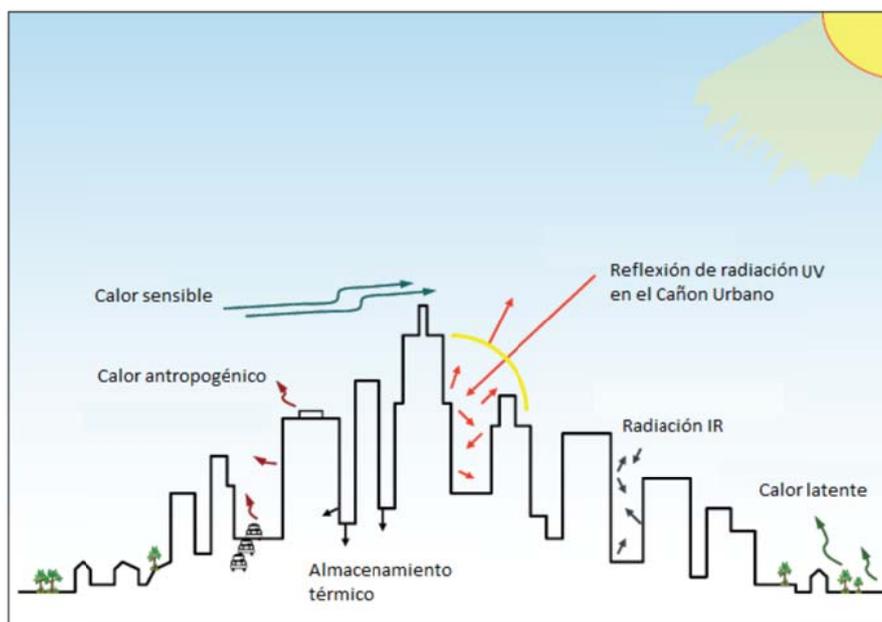


Figura 7. Ciclo de la energía en un entorno urbanizado (Fuente: Adaptado de EPA 2008).

Consecuencias

Las temperaturas elevadas producto de una ICU -en especial durante el verano- afectan el ambiente y la calidad de vida de la comunidad de manera negativa: aumenta el consumo de energía, aumentan las emisiones de contaminantes y gases de invernadero, el clima se torna desagradable y se potencian los riesgos de sufrir golpes de calor; se prolonga la temporada de crecimiento de la vegetación y disminuye la demanda de energía para calefacción en el invierno. No obstante, esta última ventaja, si se compara con los perjuicios durante el resto del año el saldo es ampliamente desfavorable.

Consumo de energía

El pico de demanda suele ocurrir en las tardes de los días de semana de verano y el aumento en la demanda se estima en un 3% por cada grado de aumento de temperatura. Además, se cree que el crecimiento sostenido en el consumo energético en los últimos tiempos se destina en un 5 a 10% a compensar el efecto de ICU. Incluso pueden ocurrir apagones por saturación de la red.

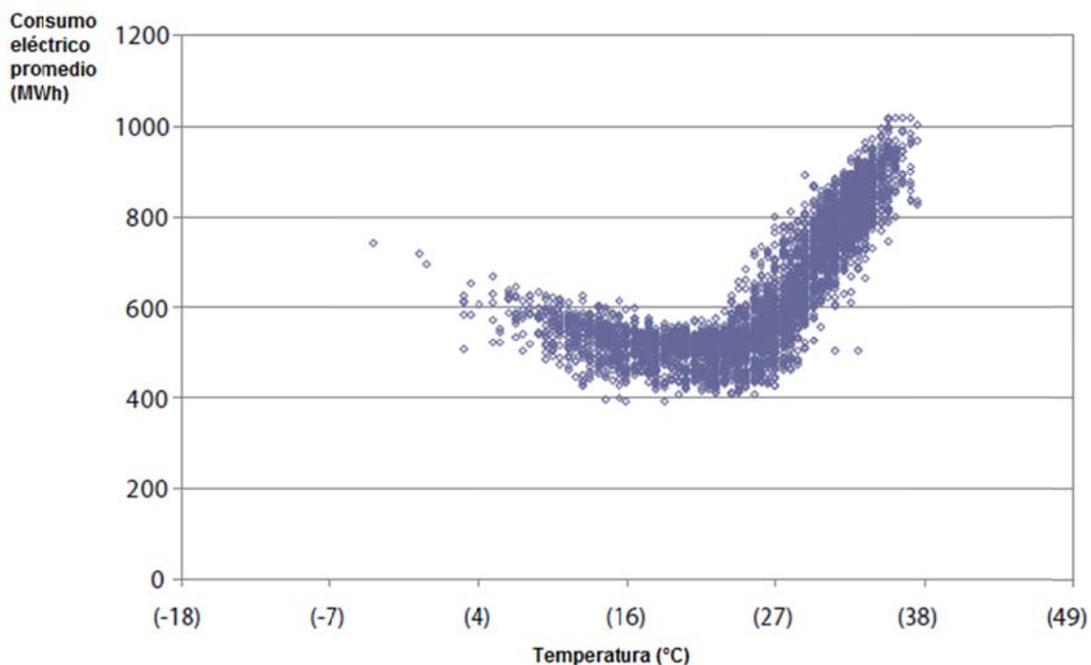


Figura 8. Demanda de energía eléctrica versus temperatura máxima del día. Se observa el aumento sostenido y abrupto en la demanda de energía a partir de que la temperatura supera los 25 °C (Fuente: Datos de Nueva Orleans, Adaptado de EPA 2008).

Calidad del aire y del agua

Las altas temperaturas hacen que aumente la demanda de energía, lo que generalmente lleva aparejado la mayor emisión de contaminantes al aire y de gases de invernadero. Cuando la energía eléctrica es producida a partir de la combustión de combustibles fósiles, se emiten al ambiente contaminantes tales como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, material particulado, monóxido y dióxido de carbono. Estas emisiones son dañinas para la salud y ocasionan problemas ambientales, por ejemplo, la lluvia ácida. Además, aumenta la velocidad de producción de ozono al nivel de la atmósfera a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.

En general, los efectos directos de una ICU sobre la comunidad son incomodidad; agotamiento; golpes de calor y problemas respiratorios. Los grupos de riesgo son los niños y los ancianos. Por citar dos ejemplos, se estima que entre los años 1979 y 1999 ocurrieron en EEUU unas 8.000 muertes relacionadas con calores extremos. En Buenos Aires, alrededor del 10% de las muertes en el verano se asocian con el estrés térmico.

Cuando llueve en una ciudad, el agua absorbe el calor de la infraestructura y luego lo arrastra hasta algún curso natural por medio de los desagües pluviales. Esto puede incrementar la temperatura de las aguas superficiales varios grados en pocos minutos, alterando el ecosistema de manera peligrosa para las especies que allí se desarrollan.

Precipitaciones intensas

El efecto de la urbanización sobre el clima suele asociarse con la formación de islas de calor y ha sido detalladamente estudiado desde el trabajo de Oke en 1981 y explicado aquí. Sin embargo, la relación entre el grado de urbanización y las precipitaciones es un poco más compleja y no ha sido fehacientemente determinada. Durante la temporada baja de lluvias en algunos sectores urbanos, suelen formarse núcleos de condensación pequeños, es decir nubes pequeñas, a causa de la contaminación atmosférica con material particulado. Sin embargo, en las temporadas de lluvias frecuentes, estas pueden incrementarse considerablemente. Cuando las nubes con altas concentraciones de aerosoles alcanzan mayores alturas las gotas que forman las nubes se congelan, liberando calor y generando fuertes movimientos convectivos y precipitaciones violentas. Es posible afirmar que las precipitaciones intensas son más frecuentes en áreas urbanas que en áreas rurales.

En un estudio para investigar el efecto de la urbanización en la intensidad de las precipitaciones, refiriéndose a una escala temporal, se tomaron medidas de lluvias durante distintos intervalos que van desde 3 horas hasta 5 días. Análisis estadísticos revelan una baja correlación entre la extensión de la urbe y la precipitación total anual. Sin embargo, existe una correlación entre la extensión de la urbe y la ocurrencia de fuertes precipitaciones, indicando que estas suelen ocurrir con mayor frecuencia en zonas urbanas. Además, estas correlaciones

mejoran cuando la escala temporal disminuye, debido a que las tormentas fuertes suelen ser cortas, encontrándose el mejor ajuste para un intervalo de 6 horas de lluvia intensa.

Por otro lado, a ciudad de mayor tamaño, mayor tendencia al aumento de lluvias intensas durante la temporada húmeda, y una disminución en la temporada seca. Las altas temperaturas de la superficie de la ciudad provocan inestabilidad en la atmósfera, lo que da como resultado vientos más intensos y, por lo tanto, precipitaciones más violentas. Cabe aclarar que, si bien la topografía puede influir en los patrones de precipitaciones de cada lugar, no tiene influencia significativa sobre las lluvias fuertes, especialmente las más intensas y de corta duración.

Cambio Climático

Según el quinto reporte del *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático* (IPCC, por sus siglas en inglés) se pronostican las siguientes condiciones para la región de la Cuenca del Plata:

- Aumento del nivel del río.
- Mayores temperaturas (aumento medio anual estimado de 0,5 °C para la década 2020-2029)
- Aumento de frecuencia de las sudestadas y de las lluvias más caudalosas.
- Probabilidad de que aumente la frecuencia islas de calor.

Mitigación

La reducción del efecto de isla de calor es extremadamente compleja. Requiere cambios sustanciales en la estructura urbana que sólo se lograrían con una planificación sustentable y con políticas de largo plazo. Estas deben tener como objetivo, entre otros, una mejor ventilación de la ciudad, la disminución de la densidad y de la altura de construcción y el aumento de las zonas verdes. No obstante, existen técnicas de mitigación del efecto isla de calor aplicables a pequeña escala, por ejemplo:

- Instalar techos y pavimentos con materiales de alta reflectancia o utilizar techos y fachadas *verdes* o de colores *fríos*.
- Promover el aumento y la conservación de las áreas con vegetación.
- Utilizar reservorios de agua en espacios verdes (convierte el calor sensible en calor latente).
- Ahorro energético. Por ejemplo, fomentar el aprovechamiento de la energía solar y el uso de ventanas con doble vidrio.

Isla urbana de calor de Buenos Aires

La magnitud de la ICU en la ciudad de Buenos Aires (BA) varía según la época del año, alcanzando el máximo durante el invierno y el mínimo en el verano. En la Figura 9 se presenta la variación media horaria de la intensidad de la ICU de BA para verano e invierno calculada como la diferencia entre las temperaturas horarias registradas en las estaciones meteorológicas Observatorio Central Buenos Aires (urbana) y Ezeiza Aero (rural) pertenecientes a la red de observación del Servicio Meteorológico Nacional en el periodo 1976-2007.

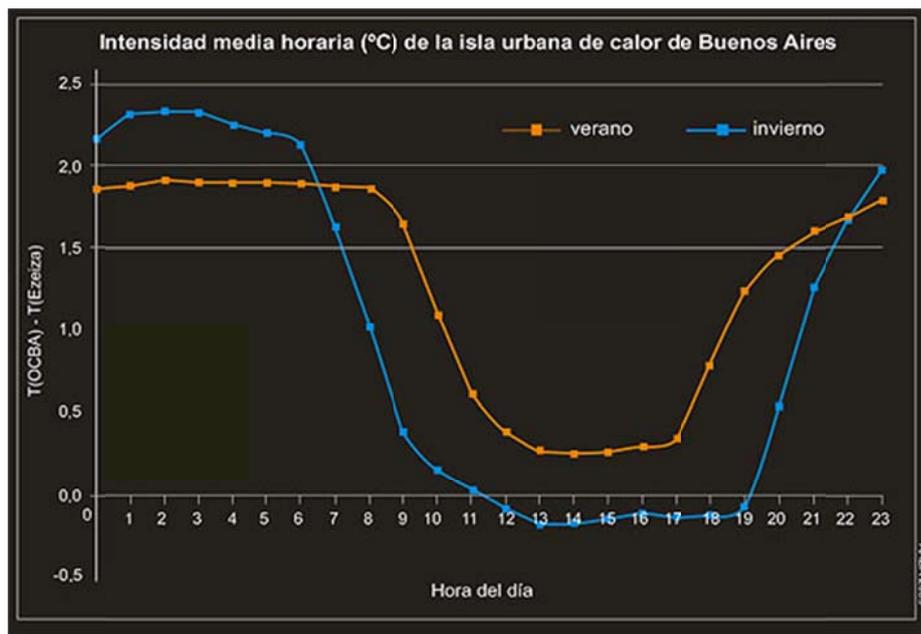


Figura 9. Variación media horaria y estacional de la intensidad de la ICU en CABA (Fuente: atlasdebuenosaires.gov.ar).

La intensidad de la ICU de BA es en promedio menor en el invierno (1 °C) y alcanza el máximo valor medio durante el verano (1,3 °C). No obstante, durante el verano se registra con mayor frecuencia el efecto de isla fría. Sea durante el verano o durante el invierno, la intensidad de la ICU es mínima en las horas del día y máxima en la noche. Igualmente, la diferencia de temperaturas entre BA y Ezeiza puede alcanzar valores del orden de 10 °C. Por ejemplo, la intensidad máxima horaria de la ICU registrada en el periodo 1976-2007 en verano fue de 11,3°C (14/01/2005 a las 19:00 horas); y para invierno, de 10,2°C (28/08/1982 a las 22:00 horas).

En la Figura 10 se muestra la tendencia a la menor frecuencia de ocurrencia de noches con cielo despejado y la tendencia hacia la menor frecuencia de noches calmas (sin viento). Ante estas condiciones, es posible esperar que disminuya la magnitud del calentamiento urbano.

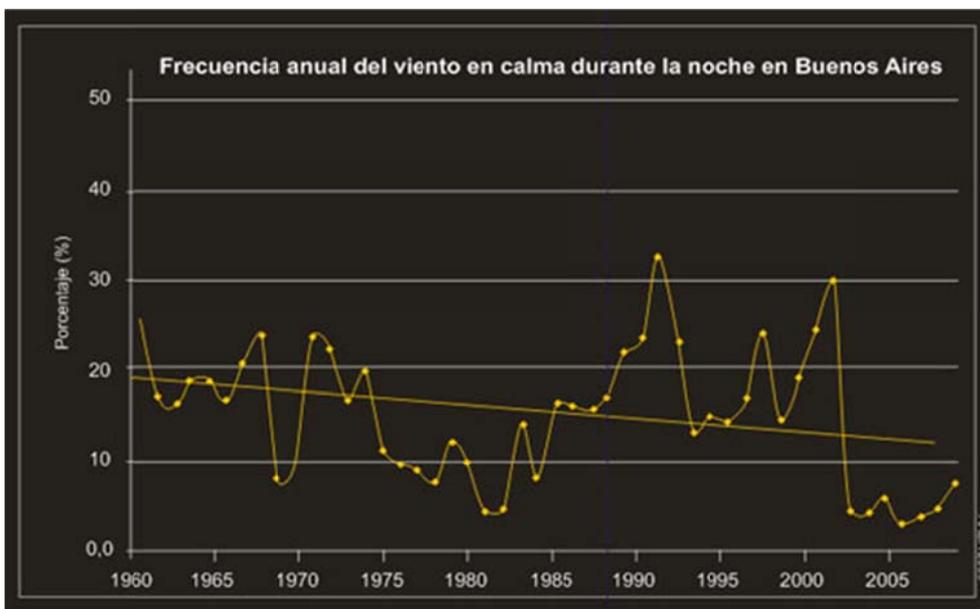
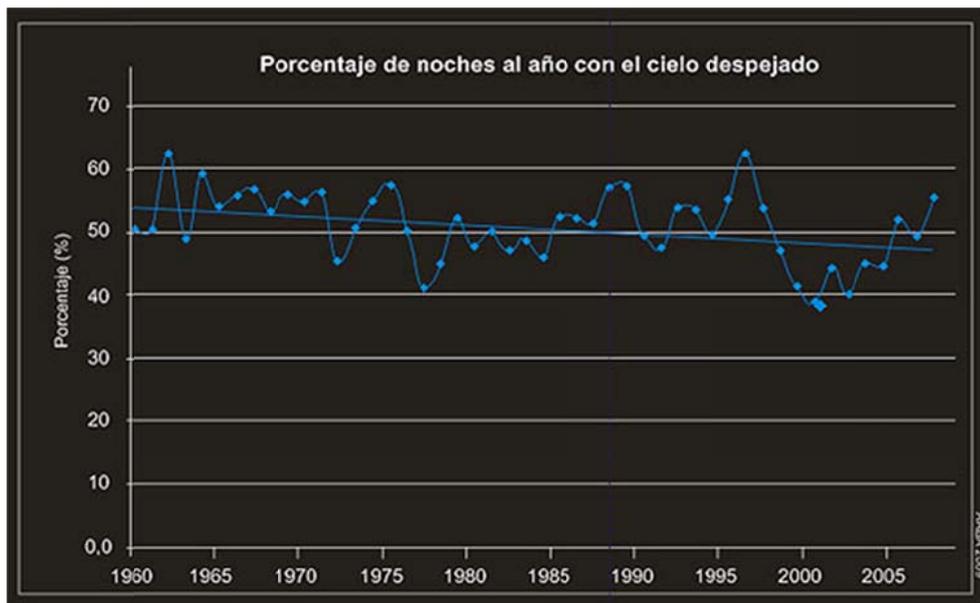


Figura 10. Evolución anual del porcentaje de noches con cielo despejado y de la frecuencia de noches calmas en CABA (Fuente: atlasdebuenosaires.gov.ar).

En la figura 11 se presenta la evolución de la intensidad media de la ICU de BA para el periodo 1960-2008. Es posible apreciar que, pese al aumento de la urbanización durante ese periodo, el efecto de calentamiento urbano muestra una tendencia negativa. Este comportamiento indica que la población no es el único parámetro determinante de la intensidad de este fenómeno, sino que es el resultado de complejas interacciones con otros factores.

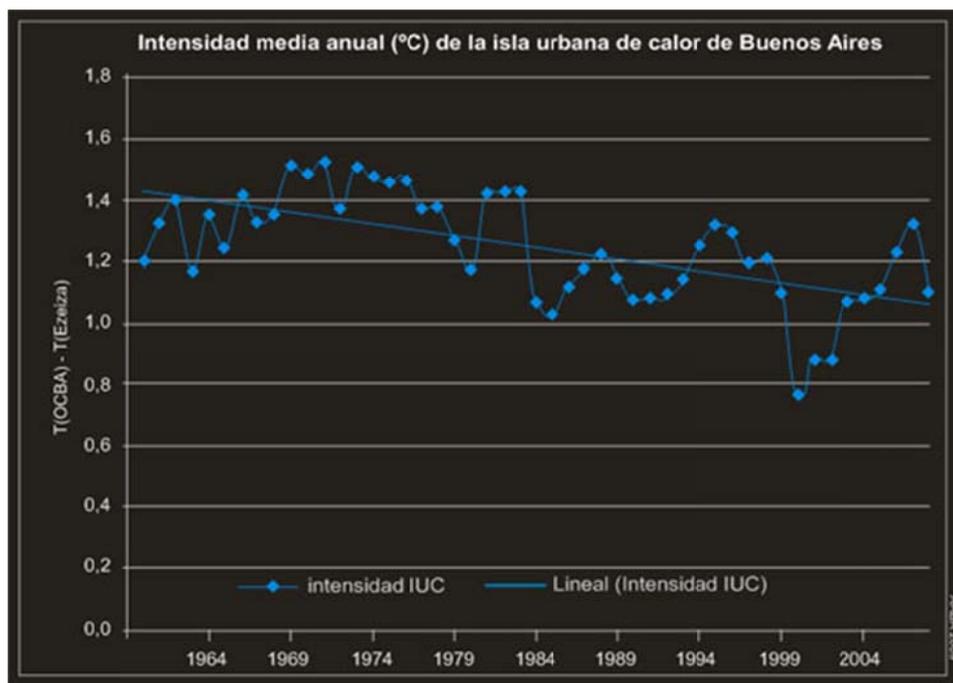


Figura 11. Evolución anual de la intensidad media de la ICU en CABA. (Fuente: atlasdebuenosaires.gov.ar).

Ciudad de La Plata

Está ubicada en la pampa húmeda, a 56 kilómetros en dirección sudeste de la ciudad de Buenos Aires y a 9,87 metros sobre el nivel del mar. Es la ciudad más populosa de la Provincia. También es la más desarrollada y asiento de las autoridades bonaerenses.

Su clima es templado, con una temperatura media anual de 16,3 °C y precipitaciones medias anuales calculadas en 1023 mm. La humedad media anual es de 77,6 % y el viento dominante es del Sudeste, que se manifiesta durante 4 meses al año.

La ciudad fundada por Dardo Rocha es desde su fundación un polo educativo de excelencia. La Plata es paradigma de planificación urbanística de fines del Siglo XIX. Por ser una ciudad proyectada antes de construirse, presenta una estructura ecológicamente armónica. La traza de la ciudad se caracteriza por una estricta cuadrícula y sus numerosas avenidas y diagonales. La forma aproximada del plano original es la de un cuadrado de 38 cuadras. La convergencia de las dos diagonales más importantes, 73 y 74, que atraviesan la ciudad de este a oeste y de norte a sur, respectivamente, se produce en la Plaza Moreno, la principal de la ciudad, en cuyo centro se encuentra la Piedra Fundamental.

En la «ciudad de los tilos y las diagonales», cada seis calles se encuentra una avenida, y en cada intersección de avenidas aparece uno de sus 23 parques y plazas (incluido el Paseo del Bosque), cruzados también por diagonales más cortas. Pobladas por alguna especie arbórea que las caracteriza, especialmente tilos, así como también por plátanos, jacarandás, naranjos, palos borrachos y paraísos. Entre otros, las vías de la ciudad se presentan como las más fores-

tadas entre las ciudades del país (Figura 12), y con una considerable variedad en especies de aves, que permite ver estorninos, carpinteros, colibríes, horneros, cotorras y zorzales.



Figura 12. Jacarandas en las calles de la ciudad.

Sobre el borde nordeste de La Plata, Benoit proyectó el Paseo del Bosque, un inmenso espacio verde y público inspirado en el Parque 3 de Febrero de Buenos Aires. Aunque su idea original no se respetó, ya que en 1884 se decía que parte de las tierras del parque serían destinadas para el futuro Hipódromo de La Plata, el Bosque sigue siendo el principal parque platense. A lo largo del siglo XX, numerosos edificios y concesiones a entidades privadas siguieron adueñándose de las tierras públicas del Paseo del Bosque. Aun así, hoy en día se destacan su lago, el anfiteatro Martín Fierro, el Jardín Zoológico y Botánico de estilo victoriano, el observatorio astronómico y el Museo de Ciencias Naturales de la UNLP. Una Avenida de Circunvalación bordea la ciudad, formando las aristas perimetrales de este cuadrado ideal que consistió en el plano urbano original. Está compuesta por las Avenidas 32, 122, 72 y 31, e incluye cuatro avenidas curvas que evitan los vértices del *cuadrado*, llamadas Boulevard: 81, 82, 83 y 84. Una serie de diagonales menores conectan los cruces de las avenidas principales y sus plazas.

En las Figuras 13, 14 y 15 se muestran diferentes parámetros meteorológicos medidos para la ciudad de La Plata, CABA y Ezeiza.

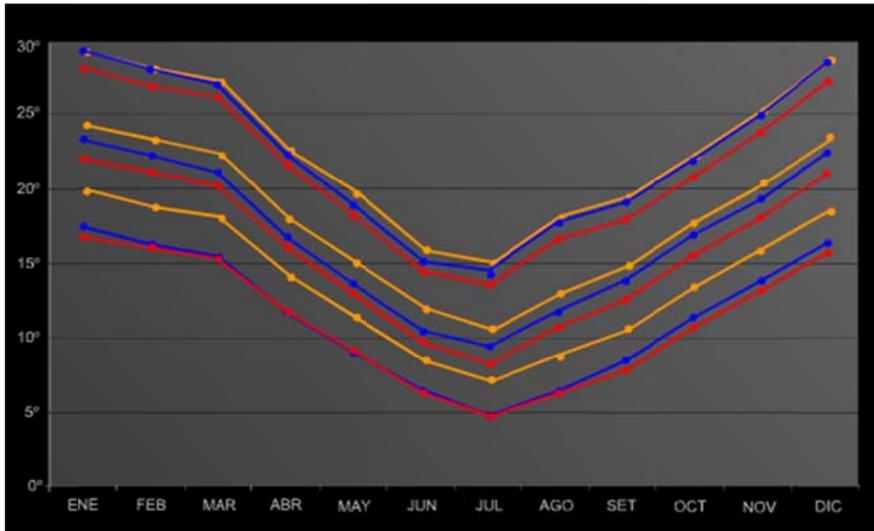


Figura 13. Temperatura media y temperaturas extremas medias mensuales (máxima y mínima) para CABA (naranja), La Plata (rojo) y Ezeiza (azul). Esta última se toma como zona rural. (Fuente: atlasdebuenosaires.gov.ar).

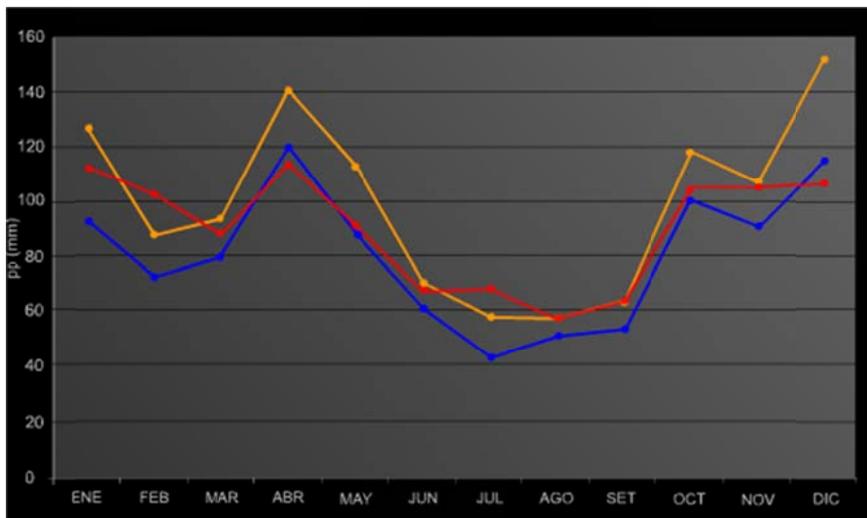


Figura 14. Precipitaciones mensuales (mm) para CABA (naranja), La Plata (rojo) y Ezeiza (azul). (Fuente: atlasdebuenosaires.gov.ar).

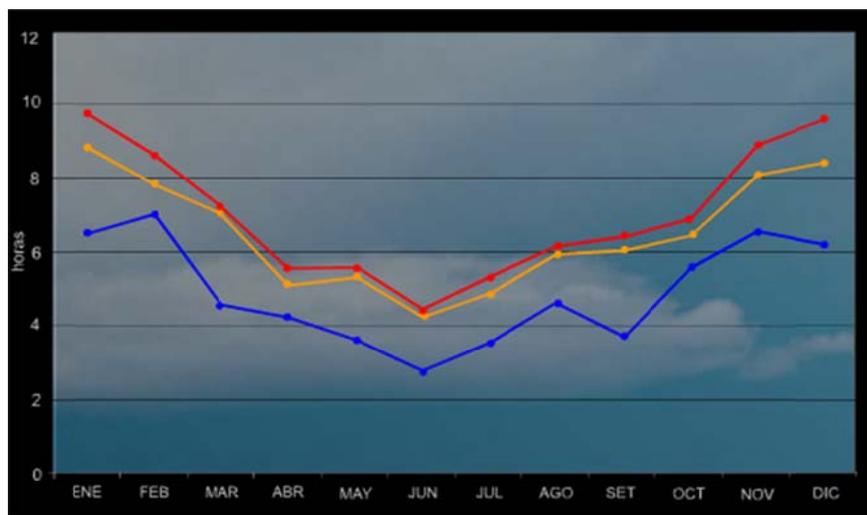


Figura 15. Horas de sol diarias. CABA (naranja), La Plata (rojo) y Ezeiza (azul). (Fuente: atlasdebuenosaires.gov.ar).

La evolución de la población del Partido de La Plata desde 1960 al 2010 se muestra en la Figura 16. Se pone de manifiesto el crecimiento demográfico que ha sostenido la ciudad. El casco urbano fundacional, según el Censo de Nacional de Población y Viviendas de 2001 contaba con una población de 186.524 habitantes. Nótese como entre 1991 y 2001 desaceleró su crecimiento, como le sucedió a muchas ciudades argentinas; sin embargo, La Plata (LP) y el Gran La Plata (GLP) tienen un crecimiento vegetativo 3,5% superior a la media de la Argentina, lo que significa que la ciudad recibe nuevos habitantes permanentes. A su vez, el aglomerado GLP contó con 745.027 en 2001, lo que la sitúa hasta el momento como la 6^{ta} aglomeración de Argentina.

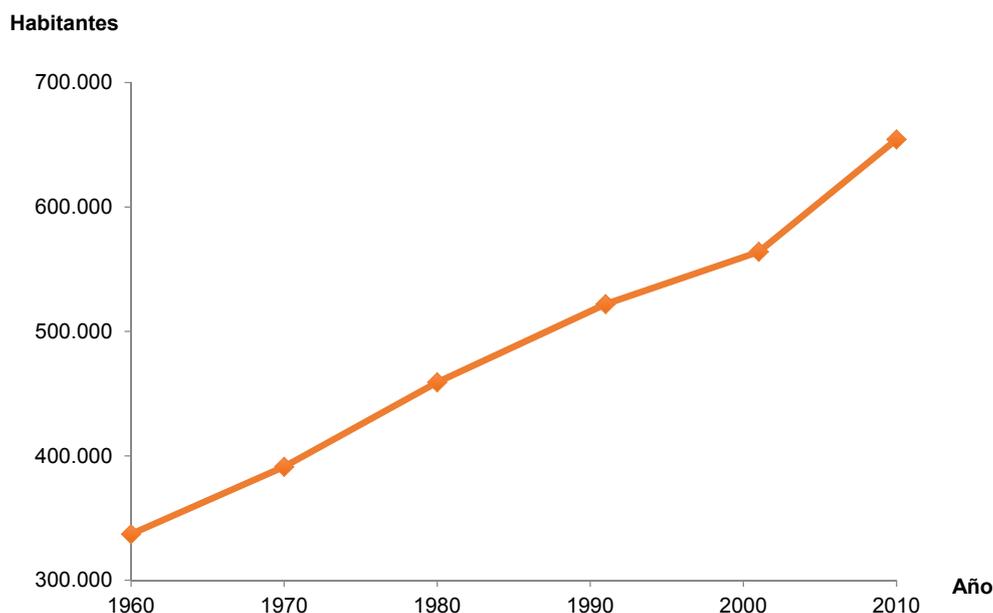


Figura 16. Evolución de la población del partido de La Plata desde 1960 a 2010. (Datos de INDEC).

En la Figura 17 se representa el área construida en la ciudad, en cada mes, para los años 2002, 2007 y 2008. Excepto en el 2002, un año marcado por la gran crisis social y económica, en el que el área construida nunca supera los 10.000 m², en los otros dos ejemplos mostrados este número es casi una cota inferior, alcanzando picos de 45.000 m². Esto denota el fuerte crecimiento inmobiliario que ha tenido la ciudad en los últimos años. Además, en la figura 20, se observa que la mayor parte de la construcción nueva que se realizó en la ciudad estuvo dirigida a edificios (viviendas multifamiliares) y en segunda instancia, a viviendas familiares simples. Como ya se explicó (ver Geometría urbana), el efecto que producen los edificios en la formación de ICU es mucho más importante que el de construcciones bajas.

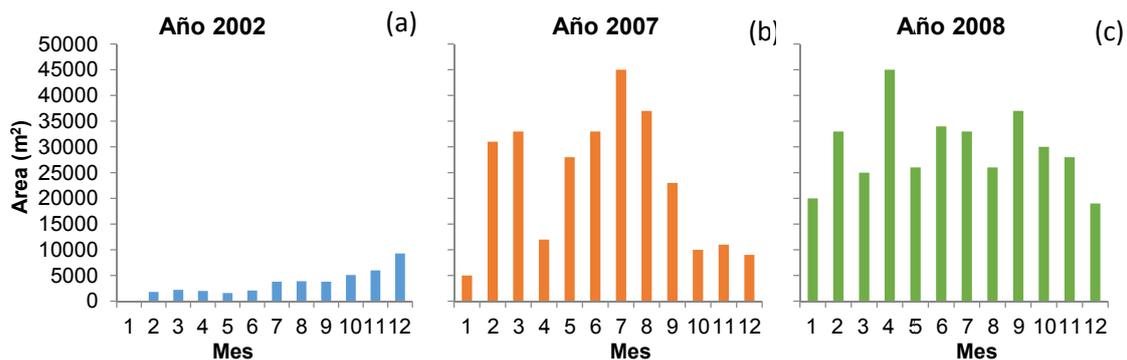


Figura 17. Superficie cubierta (en m²) de construcción nueva y ampliación en La Plata durante el año (a) 2002, (b) 2007, (c) 2008. (Fuente: Datos de Publicaciones, Municipalidad de La Plata).

La gran densidad de edificios en el centro urbano (y en las zonas cercanas a las Facultades) se ve en la Figura 18, entre las Avenidas 1 a 13, y 44 a 60.



Figura 18. Vista aérea de La Plata, casco urbano y periferia. Se observan los grandes pulmones verdes como el Bosque, Parque San Martín y Parque Saavedra.

Por último, en la Tabla 1 se detalla la cantidad de superficie construida en cada centro comunal correspondiente al Partido de La Plata. En ella se ve que el 58% tuvo lugar dentro del Casco Urbano, de lo cual se puede esperar un gran efecto negativo en cuanto el fenómeno de islas de calor, pues en la zona más densamente poblada se registró el mayor incremento en el número de edificios y de área construida. No deben extrañar estos números, puesto que LP es una ciudad universitaria y recibe anualmente miles de nuevos estudiantes, así como también recibe y posee gran cantidad de empleados públicos.

Tabla 1. Superficie total por centro comunal (periodo 2008).

Localidad	Superficie (m ²)	Porcentaje
Casco urbano	318.333	58,57
City Bell	54.577	10,04
Gonnet	22.459	4,13
Los Hornos	36.891	6,79
Villa Elisa	12.892	2,37
San Carlos	18.822	3,46
Villa Elvira	13.669	2,52
Tolosa	13.541	2,49
Ringuelet	8.575	1,58
Hernández-Gorina	7.169	1,32
Olmos	6.358	1,17
San Lorenzo	4.496	0,83
Abasto	19.825	3,65
Etcheverry	4.199	0,77
Otras	1715	0,31
Total	543.527	100

(Fuente: Datos de Publicaciones. Municipalidad de La Plata).



Figura 19. Superficie total de construcción nueva y ampliación, según destino principal (periodo 2008). (Fuente: Publicaciones. Municipalidad de La Plata).

Conclusiones

La topografía de LP es similar a la de BA, pues ambas se encuentran en una zona plana y en la Cuenca del Plata. No obstante, Capital Federal y el Gran Buenos Aires poseen una extensión mucho mayor de la que posee La Plata y el Gran La Plata. También debemos destacar que la primera se encuentra más cerca del Río de La Plata. Ambas poseen un clima similar y suelen tener las mismas variaciones e influencias, si bien la temperatura promedio en LP es 2°C más baja que en BA.

Por otra parte, en su diseño urbanístico original, La Plata ha sido pensada como una ciudad ecológicamente amigable, con calles y veredas anchas y arboladas, con plazas en cada intersección de avenidas y bordeada por un gran anillo verde; además, la prolongación de Diagonal 74 comunica el centro de la ciudad con el Río de La Plata, lo que favorece el ingreso de aire fresco y reduce así la intensidad de la ICU.

En conclusión, si bien el crecimiento demográfico de la ciudad ha sido muy importante en los últimos años y ha conllevado la construcción de edificios, la impermeabilización de terrenos, la expansión hacia zonas suburbanas aledañas, etc., debe tenerse en cuenta que la población no es el único factor que afecta a la formación de ICU. Así, las condiciones del tiempo descritas para BA es probable que afecten de la misma forma a LP y la intensidad de las ICU haya tenido durante las últimas décadas una leve tendencia a la disminución.

Bibliografía

Centro de Investigaciones Geoambientales del Museo Argentino de Ciencias Naturales; Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UBA. (2010). *Atlas ambiental de Buenos Aires*. CONICET; Agencia de Promoción Científica y Tecnológica; Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación; Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

EPA. (2008). "Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies" EE.UU.

Estadística y Evaluación de programas especiales. Publicaciones. Página:

<http://www.estadistica.laplata.gov.ar>. Municipalidad de La Plata. Argentina.

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC). (1960-2010). Censos Nacionales. Resultados definitivos. Argentina.

Oke, T.R. (1981). "Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations." En *Journal of Climatology*. 1, 237-254. Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). Quinto Reporte.

Wang D., Jiang P., Wang G., Wang D. (2015). "Urban extent enhances extreme precipitation over the Pearl River Delta, China". En *Atmos. Sci. Let.* 16, 310–317.

Wikipedia Enciclopedia virtual. Página: https://es.wikipedia.org/wiki/La_Plata.

CAPÍTULO 3

Alteraciones sobre el ciclo del agua

Ivana Stoeff Belkenoff

El crecimiento urbano conlleva un cambio en el uso del suelo, que pasa a ser un soporte para la construcción de las ciudades. La explotación de los recursos y la interrupción de ciertos procesos naturales generan modificaciones en los ciclos naturales de la materia y la energía. Un claro ejemplo es el impacto sobre el ciclo natural del agua.

La urbanización trae aparejada la eliminación de la vegetación natural, la impermeabilización del suelo (con materiales no penetrables por el agua), su compactación y la desaparición de irregularidades donde se almacena el agua precipitada. A esto se suman los cambios en las redes de drenaje (canalizaciones, entubamientos, etc.) y la intensa explotación de las aguas subterráneas. La eliminación de la vegetación natural genera una reducción del promedio anual de evapotranspiración de la cuenca y consecuentes cambios en la cantidad de agua que circula en la cuenca, en el tiempo y volumen de las precipitaciones, en tiempos y tasas de carga y descarga (Ruberto y col., 2006). En este punto, se reportan disminuciones de evapotranspiración en un 19%, 38% y 59% al reemplazar bosques por 25%, 50% y 75% de superficies impermeables respectivamente (Norambuena Vega, 2009).

Tanto la impermeabilización del suelo como la compactación del mismo tienen como consecuencia una disminución en la infiltración del agua hacia el acuífero, que a su vez genera un aumento de escorrentía superficial y una reducción de la recarga de agua subterránea, causando una depresión de la napa freática. A su vez, la explotación de las aguas subterráneas genera modificaciones en el nivel freático y el nivel piezométrico subterráneos.

Todas estas modificaciones se traducen en la alteración del equilibrio hídrico natural (hidrología superficial y recarga de acuíferos), causando cambios dramáticos en la hidrología o la forma en que el agua es transportada y almacenada:

1. aumento del volumen y la velocidad de la escorrentía
2. aumento de la frecuencia y gravedad de las inundaciones
3. caudales máximos muchas veces mayor que en cuencas naturales
4. pérdida de capacidad de almacenamiento de la escorrentía natural por la vegetación, los humedales y el suelo
5. reducción de la recarga de aguas subterráneas
6. disminución del caudal base como contribución a la recarga de aguas subterráneas (Norambuena Vega, 2009).

Arroyo del Gato - Caracterización del ciclo del agua

La cuenca del Arroyo del Gato tiene una extensión aproximada de 98 km² y una longitud de 25 kilómetros; y se caracteriza por un alto grado de intervención antrópica. En ella existen áreas densamente pobladas, donde residen más de 380 mil personas.

El Arroyo nace en las cercanías de la Ruta provincial N° 36, localidad de Lisandro Olmos, partido de La Plata y atraviesa las localidades de Melchor Romero, San Carlos, Ringuelet y Tolosa, para finalmente desembocar en el Río Santiago (SPA, 2009). La cuenca atraviesa el casco urbano de la ciudad de La Plata por el sector Noroeste (NO). Las actividades humanas en la cuenca permiten reconocer tres sectores:

a) La cuenca alta, que se desarrolla en un área suburbana con baja densidad poblacional, en la cual prevalecen actividades primarias (horticultura y floricultura) y algunas industrias.

b) La cuenca media, donde hay un incremento de la urbanización y de la densidad de población a medida que se acerca al casco urbano de la ciudad de La Plata. Allí observamos un mayor número de industrias, actividades de servicios y barrios de viviendas precarias instalados próximos al cauce principal del arroyo.

c) La cuenca inferior, que corresponde al sector donde el curso de agua, una vez que abandona el área urbana, está encausado por un canal que atraviesa una zona con menos densidad de población (PNUD-SAyDS, 2012).

Clasificación climática

Según la clasificación de Thornthwaite (1948), la cuenca está ubicada en la zona de clima B1 B'2 r a' (húmedo, mesotérmico, con nula o pequeña deficiencia de agua y baja concentración térmica estival). Esta clasificación se basa en la relación entre la disponibilidad y la demanda de agua y para su determinación es necesario desarrollar previamente el balance hídrico a nivel edáfico (PNUD-SAyDS, 2012).

Balance hídrico

Cuando en un mes se producen más entradas de agua que salidas (precipitación mayor que evapotranspiración) el agua excedente aumenta la reserva hídrica del suelo; por el contrario, cuando las salidas son mayores que las entradas, las reservas se reducen. Sin embargo, el suelo tiene una capacidad de retención de humedad que es función de sus características físicas y cuando se alcanza la capacidad de retención máxima, el agua excedente escurre superficialmente o se infiltra. Para la región platense, la capacidad de campo (Cc), es decir, la reserva máxima (mm de agua) por unidad de superficie que el suelo es capaz de almacenar en su perfil, se considera igual a 200 mm en virtud del suelo (franco limoso, con raíces de moderada profundidad \approx 1 m) y vegetación dominante (PNUD-SAyDS, 2012).

Período 1909-2001

En la Tabla 1, se muestran los relevamientos realizados por Romanazzi y col. (2007), sobre el balance hídrico correspondiente al periodo 1909-2001. El mismo se caracterizó por presentar a diciembre, enero y febrero como meses secos, debido a que la precipitación no logró superar a la evapotranspiración, mientras que el resto del año fue presentado como el período húmedo, estando mayo levemente por encima del equilibrio. Durante dicho período, se mantuvo la capacidad máxima de retención de agua a lo largo de casi todo el año, siendo el bimestre enero-febrero el de mayor caída de los valores de retención. El balance permitió apreciar la existencia de un pequeño déficit de agua en el suelo durante el verano y un exceso que fue más importante entre fines de otoño y principios de primavera (Romanazzi y col., 2007). El notorio predominio de los excedentes sobre los déficit hídricos constituye un indicio favorable para la recarga subterránea. El período en el cual se registra escorrentía o infiltración de agua en el perfil se extendió de abril a noviembre.

Tabla 1. Balance hídrico 1909-2001, La Plata (Romanazzi y col., 2007)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
T	22,8	22,1	20,1	16,5	13,3	10,4	9,9	11,0	12,8	15,5	18,4	21,2	16,2
i	9,95	9,49	8,22	6,1	4,4	3,03	2,01	3,3	4,15	5,55	7,19	8,91	72,3
ETPd sa	3,5	3,3	2,8	2	1,5	1	0,9	1	1,4	1,9	2,5	3,1	
FC	36,9	31,2	31,8	28,2	26,7	24,6	26	28,2	30	33,9	35,1	37,5	
ETP	129	103	89	56	40	25	23	28	42	64	88	116	803
P	99	93	111	94	83	63	65	67	77	94	95	94	1035
P-ETP	-30	-10	22	38	43	38	42	39	35	30	7	-22	
Ppaa	-52	-62										-22	
Alm	153	146	168	200	200	200	200	200	200	200	200	179	
Valm	-26	-7	22	32	0	0	0	0	0	0	0	-21	
ETR	125	100	89	56	40	25	23	28	42	64	88	115	795
Def	4	3										1	8
Exc				6	43	38	42	39	35	30	7		240

Referencias

Todos los valores están expresados en mm., excepto **i** y **FC** (adimensionales) y **T** (°C)

Capacidad Hídrica: 200 mm

Las abreviaturas utilizadas en las tablas corresponden a:

T: Temperatura media mensual

i: Índice calórico mensual (I = Suma 1-12i)

ETPd sa: Evapotranspiración potencial diaria sin ajustar

FC: Factor de corrección

ETP: Evapotranspiración

P: Precipitación

P-ETP: Precipitación menos evapotranspiración

Ppaa: Pérdida potencial de agua acumulada

Alm: Almacenaje

Valm: Variación de almacenaje

ETR: Evapotranspiración real

Def: Déficit

Exc: Exceso

Período 2001-2010

En la Figura 1, se muestra el balance hídrico para la región publicado en el informe PNUD-SAyDS (2012). De acuerdo a esos datos se definieron a noviembre, diciembre y enero como meses secos. En contraposición, el resto del año es considerado húmedo, estando marzo levemente por encima del equilibrio. Se puede observar en el gráfico que el perfil mantuvo su capacidad máxima de retención de agua a lo largo de casi todo el año, siendo el bimestre diciembre-enero, los meses en los que la reserva en el suelo decae a valores considerables, 168 y 159 mm respectivamente. El período en el cual se registró exceso de agua en el perfil, se extendió de marzo a octubre, siendo muy poco significativa en mayo (8 mm) (PNUD-SAyDS, 2012).

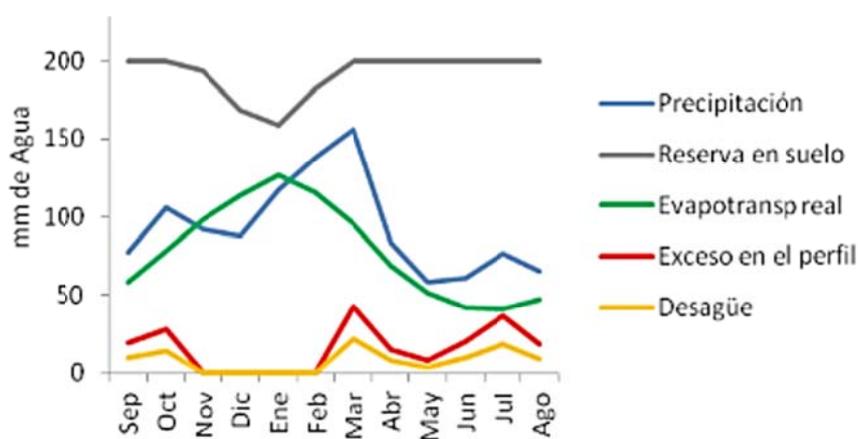


Figura 1. Balance hídrico 2001-2010, La Plata (PNUD-SAyDS, 2012)

Geomorfología

La cuenca del Arroyo del Gato se encuentra en una región caracterizada por su conformación llana, con suave pendiente al Noreste (NE) (Figura 2). Se pueden diferenciar dos zonas, cada una con rasgos claramente distintivos en cuanto a su génesis y su forma: la *Planicie Costera*, también denominada *Terraza Baja* y la *Terraza Alta* o *Zona Interior*, separadas por un sector denominado *Escalón*. El Arroyo Del Gato nace en la *Terraza Alta* y se desarrolla hasta la *Planicie Costera*, donde el curso principal se halla canalizado artificialmente (PNUD-SAyDS, 2012). La cuenca alta y media se desarrollan en la *Llanura Alta*, mientras que la cuenca inferior se localiza en la *Planicie Costera*.

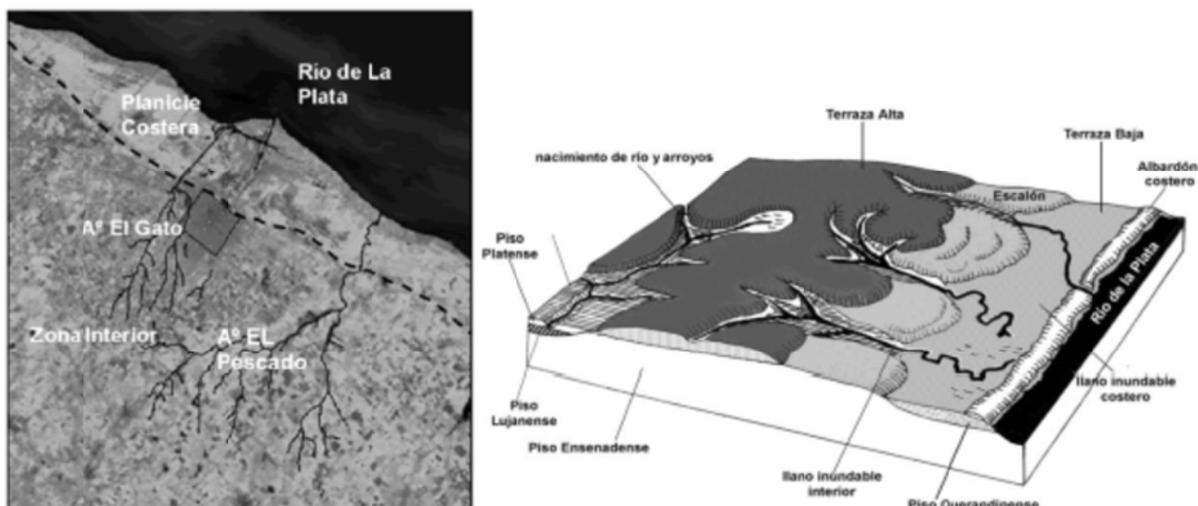


Figura 2. Unidades morfológicas en la CADG (PNUD-SAyDS, 2012)

La Planicie Costera comprende una faja de aproximadamente 318 km² con un ancho variable entre 6 y 10 km, dispuesta en forma paralela a la línea de la ribera del Río de la Plata. Constituye un ámbito casi sin manifestaciones topográficas destacables en el relieve, donde las alturas en general están por debajo de los 5 m. sobre el nivel del mar (snm) y en un porcentaje superior al 70% de la superficie, por debajo de los 2,5 m. sobre el nivel del mar. En esta zona, la ínfima pendiente topográfica dificulta el flujo lateral del agua superficial y subterránea. El escurrimiento superficial es limitado, entorpeciendo el drenaje de las aguas provenientes de la Llanura Alta. El escurrimiento superficial se complejiza aún más por la presencia de albardones costeros de arena y conchillas, paralelos a la línea de ribera y que generalmente se ubican por encima de la costa, a 2,5 m snm. Esta situación motivó las obras de canalización de los arroyos en la planicie costera. Como resultado, el sector es un ambiente mal drenado, en parte cenagoso, con agua subterránea a muy poca profundidad (generalmente a menos de 1 m), habitualmente anegado, donde predomina una dinámica vertical en el sistema hídrico, lo cual hace que esta planicie funcione como el principal ámbito de descarga de aguas subterránea (PNUD-SAyDS, 2012).

La Terraza Alta comprende la cuenca alta y media de los arroyos, desde el sector de las nacientes cercano a la Ruta Provincial 36 hasta la Avenida 122, aproximadamente (SPA, 2009); con alturas entre 5 y 30 m sobre el nivel del mar. Se desarrolla en una superficie de 689 km² y presenta un relieve suavemente ondulado, mucho más acentuado que la planicie costera. En este sector, el cauce principal del Arroyo del Gato es de poca profundidad (3 m) y relativamente angosto (20 m). Se caracteriza por poseer agua en forma permanente y suelos bien drenados y de buena calidad (PNUD-SAyDS, 2012). Si bien las pendientes siguen siendo bajas, el incremento del gradiente respecto a la planicie costera favorece el flujo superficial y subterráneo (SPA, 2009: 52). Las condiciones morfológicas y geológicas que caracterizan a la Terraza Alta inciden en la dinámica y en la química del agua subte-

rránea. Aquí domina la infiltración o la recarga durante el período de exceso, particularmente en las divisorias de aguas superficiales que son las formas de menor pendiente topográfica. Tanto las áreas urbanas como la zona de efluentes, son áreas que dificultan la recarga de acuíferos. En coincidencia con el Escalón, se produce la mayor descarga natural de agua dulce del Acuífero Puelche (PNUD-SAyDS, 2012).

A la altura de la cabecera del Arroyo del Gato se presenta, a manera de interfluvio plano, la divisoria de aguas entre la cuenca del río Samborombón y el sistema de cuencas de los arroyos del Río de La Plata. Esta zona posee las mayores cotas del partido (alrededor de 30 m) y se caracteriza por su chatura y por la ausencia de un sistema integrado de drenaje. Asimismo, es una zona de relevancia hidrogeológica, debido a la recarga hidrológica subterránea. Cabe mencionar que registra los mejores suelos de La Plata desde el punto de vista agroecológico. En la zona del nacimiento de los afluentes del arroyo se ubica el interfluvio convexo. Se trata de una zona convexa alta con una cota entre 20 y 25 m, que se extiende entre los afluentes principales de los arroyos de la cuenca (Regimiento y Pérez), siendo también una zona de recarga subterránea. En las zonas próximas a los márgenes del curso en una extensión variable de 100 a 200 metros y a lo largo de todo el trayecto del arroyo, dentro de la Terraza Alta se desarrolla la planicie de inundación, zona baja y plana, con una elevada erosión hídrica que tiende a ocupar el agua naturalmente en épocas de abundantes lluvias (SPA, 2009).

Suelos

En el área de la Terraza Alta de la CADG los suelos poseen moderada a baja permeabilidad y elevada plasticidad (PNUD-SAyDS, 2012). Los terrenos más altos, mejor drenados y más fértiles de la llanura poseen suelos con todos los horizontes desarrollados y constituyen, desde el punto de vista agrícola, los mejores dentro de la zona, siendo los más buscados para fines hortícolas y para el cultivo de flores.

La Planicie Costera registra suelos anegadizos, de escaso drenaje y con un alto grado de impermeabilización. Cercana a su desembocadura, la cuenca presenta suelos de origen pluvial y sedimentario, como la isla Santiago, con predominancia de limos y arcillas. En general, los suelos de esta planicie están constituidos principalmente por arcillas incorporadas a partir de la ingresión marina. Se caracterizan por tener muy baja permeabilidad, anegabilidad frecuente, texturas extremadamente finas y contenido elevado de sodio. Por tal razón, no son aptos para uso hortícola o ganadero intensivo (SPA, 2009).

Hidrogeología

Para este ambiente hidrogeológico, (en estado natural, sin intervención antrópica) la evapotranspiración real media anual es aproximadamente del 70% de la lluvia, la infiltración está

próxima al 20% y la escorrentía al 10%. El exceso de lluvia frente a la evapotranspiración indica que la región es húmeda (PNUD-SAyDS, 2012).

Hidrogeología del subsuelo

Las unidades hidrogeológicas que se encuentran en explotación son las Arenas Puelches y los Sedimentos Pampeanos. Estos últimos contienen al Acuífero Pampeano; debajo de este acuífero se sitúan las Arenas Puelches que contienen al Acuífero Puelche, el más importante del NE de la Provincia de Buenos Aires (Bazán y col., 2011).

Pampeano: En el perfil se extiende entre 12 y 25 m de profundidad, comportándose hidráulicamente como un acuífero de mediana productividad, del cual se abastece la mayor parte de la población que no cuenta con servicio de agua potable, a través del empleo de electro bombeadores (SPA, 2009). Su espesor oscila entre los 50 m, en la Llanura Alta, y los 0 m, en la costa del Río de la Plata, zona totalmente erosionada (Auge, 2000). Posee una transmisividad de 200 m²/día. Este nivel incluye a la capa freática cuya profundidad, en condiciones naturales, varía entre 5 y 10 m (Bazán y col., 2011). La base del Pampeano es una capa arcillosa, de color gris claro que lo separa de las Arenas Puelches subyacentes (SPA, 2009). El Acuífero Pampeano se recarga por la infiltración de la lluvia y constituye la vía de transferencia hidráulica hacia el Puelche subyacente (PNUD-SAyDS, 2012).

Arenas Puelches: Las Arenas Puelches contienen al acuífero más importante de la región por su calidad y productividad (Puelche). La totalidad de los pozos del servicio de agua potable de La Plata, y sus alrededores, captan agua de este acuífero que a su vez, se utiliza para riego y actividades industriales. Se extienden en forma continua ocupando 83.000 km² en el subsuelo del NE de la Provincia de Buenos Aires. En la zona del Partido de La Plata, el techo del Puelche se ubica entre 20 y 50 m de profundidad, su espesor varía entre los 20 y 30 m (Auge, 2000) y su transmisividad media es de 500 m²/día (Bazán y col., 2011). La sobreexplotación a la que está sometido el acuífero Puelche ha generado un descenso de la superficie piezométrica con la formación de un cono de depresión cuya superficie supera los 70 km² (Figura 3). Dada la vinculación hidráulica existente, esta profundización de niveles también afecta a la capa freática. La explotación de agua subterránea impone un régimen que depende principalmente de las variaciones en los volúmenes extraídos. La expansión de conos de depresión produjo la inversión de los gradientes hídricos naturales de los niveles freáticos. Como consecuencia de ello se ha modificado la relación natural entre el agua superficial y el agua subterránea, destacándose para las condiciones actuales en la cuenca alta y media, el carácter manifiestamente influente (cede agua) del curso con respecto a la capa freática (Bazán y col., 2011).

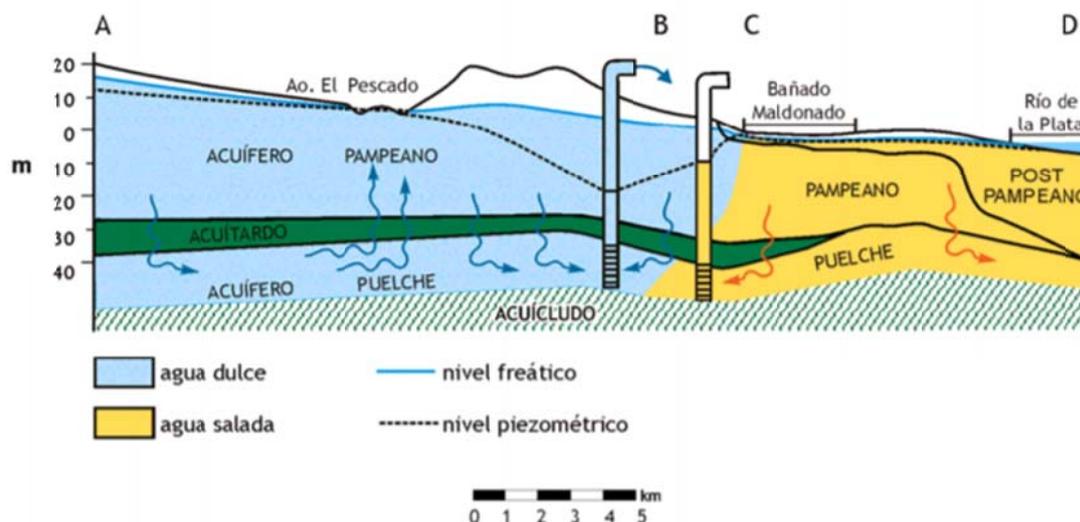


Figura 3. Sentido de circulación del agua subterránea a partir de una captación por bombeo (Auge, M., 2000)

Hidrogeología de superficie

Los arroyos de la vertiente del Río de la Plata tienen un rumbo general de escurrimiento SO-NE, lo cuales antiguamente desaguaban en la Planicie Costera y no en el Río de la Plata. Ello se debía a que, entre los 5 metros sobre el nivel del mar y la costa del Río de la Plata, se producía un cambio de pendiente regional, cuya mínima (<0,03%) disipaba la energía de los arroyos, propiciando la creación de bañados. Con la constitución de los asentamiento urbanos esta situación fue revertida, dado su desarrollo exigía una mejora de los niveles del terreno (Ensenada y Berisso). Esto se logró mediante la canalización de cursos –nuevos y existentes– para posibilitar el escurrimiento y la salida hacia el Río de La Plata (SPA, 2009).

Uso del suelo

La cuenca alta del Arroyo del Gato se desarrolla en un área suburbana con baja densidad poblacional, donde prevalecen actividades agrícolas intensivas (horticultura y floricultura) y pocas industrias (Bazán y col., 2011). El sector correspondiente a la naciente del arroyo, específicamente hacia el sudoeste de la Ruta Provincial N° 36, es una zona dedicada a la horticultura comercial de excelente productividad. En esta área la extracción de agua subterránea para riego es muy importante (SPA, 2009). En la cuenca media hay un incremento significativo de la urbanización y de la densidad de población, además de un alto número de industrias, actividades de servicios y barrios de viviendas precarias instalados próximos al cauce del arroyo (Bazán y col, 2011).

En los últimos años, se destaca el incremento de la expansión del área urbana sobre las planicies de inundación del arroyo, en especial en la cuenca baja y media. La ocupación de la planicie de inundación, que en algunos sectores llega hasta sus márgenes, ha generado proce-

osos de impermeabilización de los terrenos, situación que impide la recarga natural de las napas freáticas, con el consecuente aumento de la escorrentía superficial. Esta condición se ve incrementada durante períodos de lluvias intensas, inundando las áreas bajas, que generalmente se encuentran ocupadas por asentamientos precarios.

Un aspecto a considerar son las construcciones en zonas anegables que muchas veces están elevadas mediante rellenos, formando una especie de barranca que encajona parcialmente el cauce del arroyo, causando una modificación en la dinámica hídrica (SPA, 2009).

Avance de la urbanización e impacto sobre el ciclo del agua

Del volumen total de precipitación que cae en un lugar dado, un porcentaje de agua se va por infiltración y evapotranspiración y el restante escurre por la superficie del suelo hacia la planicie de inundación de la cuenca. Para un pastizal en estado natural podemos considerar que un 70% del agua infiltra y se evapora, mientras que un 30% escurre por superficie. Dado que el crecimiento urbano implica la eliminación de la vegetación natural, así como la impermeabilización y compactación del suelo, la infiltración y evapotranspiración disminuyen y el escurrimiento superficial aumenta, y por lo tanto estos porcentajes cambian.

Con el objetivo de poder visualizar el impacto que tiene el crecimiento urbano sobre los diferentes procesos que forman parte del ciclo natural del agua, se usaron imágenes satelitales obtenidas de Google Earth; una actual (año 2016) y una del año 2005 (Figura 4). En ellas se delimitó la cuenca del Arroyo del Gato y se dividió la misma en tres zonas con diferentes niveles de urbanización. Se asignó un porcentaje de escorrentía a cada zona de forma de poder realizar una comparación cuantitativa. A partir de la superficie (A) de cada zona y su respectivo coeficiente de escorrentía (c), se calculó el cociente ($c * A$) para cada zona y se sumaron los tres valores obtenidos. De esta manera, conociendo la superficie total de la cuenca se obtuvo un valor promedio de escorrentía aproximado para la cuenca, que puede ser comparado para los diferentes años.

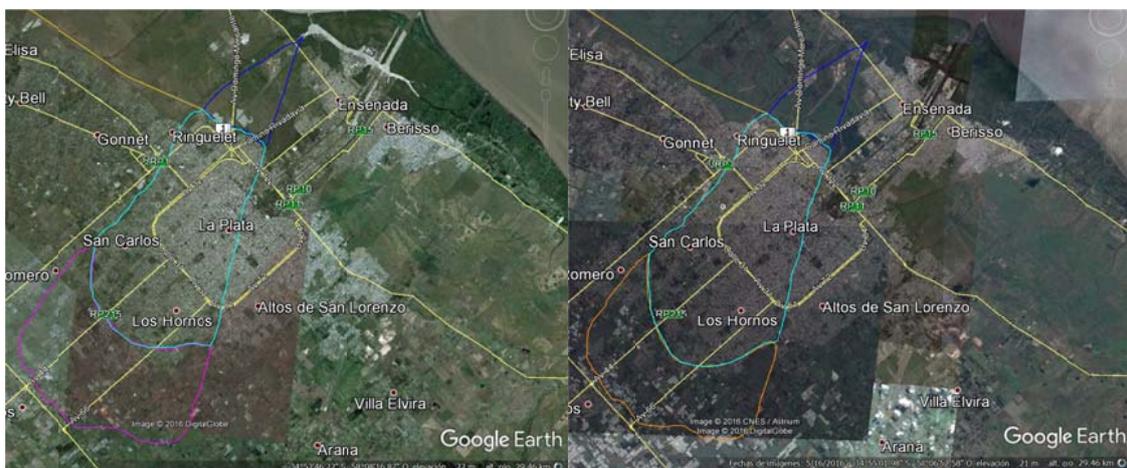


Figura 4. Imagen satelital de la cuenca del arroyo “Del Gato” del año 2005 (izquierda) y 2016 (derecha) (Fuente: elaboración propia sobre imagen Google Earth)

Tabla 1: Cálculo coeficiente de escorrentía sobre la base de las imágenes mostradas en la Figura 4

Año 2005				
Color	% de escorrentía	Coeficiente de escorrentía (c)	Superficie (A, en km²)	C * A
Azul	30	0,3	8,6	2,58
Violeta	40	0,4	36,3	14,52
Celeste	90	0,9	48,5	43,65
Total	(promedio) 65	(promedio) 0,65	93,4	60,75

Año 2016				
Color	% de escorrentía	Coeficiente de escorrentía (c)	Superficie (A, en km²)	C * A
Azul	30	0,3	8,6	2,58
Naranja	50	0,5	30,6	15,3
Celeste	90	0,9	54,2	48,78
Total	(promedio) 71	(promedio) 0,71	93,4	66,66

De la estimación realizada, puede evidenciarse que el crecimiento urbano que tuvo lugar entre los años 2005 y 2016, aumentó en casi un 10% el coeficiente de escorrentía, por modificación del balance de infiltración y evapotranspiración de la cuenca.

Alternativa para disminuir el impacto sobre el ciclo del agua

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), incluidos dentro de los BMP's (Best Management Practices) están pensados para reproducir, de manera fiel, el ciclo hidrológico natural frente a la urbanización o intervención humana. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (Perales Momparler y Andrés-Doménech, 2007). Las medidas estructurales más utilizadas son las siguientes:

Sistemas de control en origen

Estos sistemas, evitan la escorrentía superficial y recuperan la capacidad de infiltración original. Incluyen:

Superficies permeables: pavimentos que permiten el paso del agua, abriendo la posibilidad a que esta se infiltre en el terreno, o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversos tipos, entre ellos: césped o gravas, bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosas, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).

Pozos y zanjas de infiltración: pozos y zanjas de 1 a 3 metros de profundidad rellenos de material drenante (granular o sintético) que recogen y almacenan el agua de escorrentía para su infiltración.

Depósitos de infiltración: depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas.

Cubiertas vegetales: cubiertas de edificaciones con plantaciones que retienen el agua, reduciendo el volumen de escorrentía.

Sistemas de transporte permeable

Transportan lentamente el agua de escorrentía permitiendo la filtración, el almacenamiento, la infiltración e incluso la evaporación y oxigenación.

Drenes filtrantes: zanjas poco profundas rellenas de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte. Sirven para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además pueden permitir la infiltración.

Cunetas verdes: Canales vegetados con hierba que sirven para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía. También pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

Sistemas de tratamiento pasivo

Se trata de sistemas que eliminan y descomponen los contaminantes del agua al final del proceso de tratamiento:

Franjas filtrantes: Franjas anchas de terreno vegetado y con leve pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento, y/o evacuación o infiltración). Permiten la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía.

Depósitos de detención: depresiones diseñadas para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía de las tormentas.

Estanques de retención: Lagunas artificiales con volumen de agua permanente (de profundidad entre 1 y 2 m), diseñadas para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas).

Humedales artificiales: amplias superficies de agua poco profundas y con vegetación propia de pantanos o humedales naturales (Prieto Leache, 2010; Perales Momparler y Andrés-Doménech, 2007).

El uso de SUDS, en contraste con los sistemas convencionales de drenaje, aporta múltiples beneficios:

- Reducir volumen y frecuencia de escorrentías desde áreas urbanizadas hacia cauces naturales o redes de alcantarillado, para reproducir el drenaje natural.
- Restituir el flujo subterráneo hacia los cursos naturales mediante infiltración.
- Reducir los caudales punta disminuyendo el riesgo de inundación.
- Aumentar la calidad del agua procedente de las escorrentías, eliminando los contaminantes procedentes de fuentes difusas.
- Minimizar la afección al régimen de funcionamiento de los cauces naturales.
- Mejorar el paisaje urbano (Perales Momparler y Andrés-Doménech, 2007).

Conclusiones

Del relevamiento realizado, se evidencia que la cuenca del Arroyo del Gato presenta modificaciones en cuanto a los volúmenes y movimientos preferenciales del agua en el ciclo hidrológico, como así también en la interrelación agua superficial – agua subterránea, causada por alteraciones tales como la canalización de arroyos, la impermeabilización del suelo y la sobreexplotación de los acuíferos.

El régimen actual del arroyo se caracteriza por presentar importantes crecidas de corta duración, favorecidas por el escurrimiento desde la zona urbana. El aumento del escurrimiento superficial es inducido por la drástica disminución de la capacidad de infiltración del agua, como consecuencia de la impermeabilización de los suelos.

Mediante un análisis a partir de imágenes satelitales del sitio, se logró evidenciar que el crecimiento urbano modificó la capacidad de infiltración y evapotranspiración de la cuenca, provocando un aumento en el porcentaje de escorrentía.

Para concluir se propone el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como una alternativa para disminuir los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía.

Bibliografía

Auge, M. (2000). "Explotación sostenible de agua subterránea en La Plata – Argentina". En *Revista Aguas Subterráneas. Suplemento - Anais do XI Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas*.

- Bazán, J. M., Alberino, J. C., Varriano, N., Cariello, J., Kruse, E., Rojo A., Deluchi M., y Lauren-cena P. (2011). *Cuencas del arroyo El Pescado y del Gato en los partidos de La Plata, Ber-risso y Ensenada (Proyecto Integrador para la Determinación de la Calidad del Agua)*. La Plata: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad de Regional La Plata y Universidad Na-cional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
- CFI-PBA-MLP-UNLP-IGS (2006). *Análisis Ambiental del Partido de La Plata: Aportes al Orde-namiento Territorial*. La plata: Concejo Federal de Inversiones, Provincia de Buenos Aires, Municipalidad de la Plata, Universidad Nacional de la Plata, Instituto de Geomorfología y Suelos.
- Norambuena Vega, P. (2009). *Análisis y predicción de los efectos del crecimiento urbano sobre escorrentía e infiltración en la provincia de Chacabuco, Región Metropolitana de Santiago, Chile*. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Disponi-ble en: <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Normabuena,%20Pablo.pdf>.
- Perales Momparler, S.; Andrés-Doménech, I. (2007). *Los sistemas urbanos de drenaje sosteni-ble: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. Disponible en: <http://ovacen.com/wp-content/uploads/2015/05/gestion-del-agua-en-el-planeamiento.pdf>
- PNUD-SAyDS (2012). "Calidad ambiental de las Cuencas de los Arroyos del Gato y Pereyra Provincia de Buenos Aires, Argentina". Proyecto Reducción y Prevención de la Contamina-ción de Origen Terrestre en el Río de la Plata y su Frente Marítimo Mediante la Implementa-ción del Programa de Acción Estratégica de Freplata (No. ARG/09 G46). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Proyecto FREPLATA II de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS), La Plata. p. 252
- Prieto Leache, I. (2010). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Disponible en: <http://www.dina-mar.es/file.axd?file=2009%2F11%2Fjia-comunicacion+completa+Ignacio+Prieto.pdf>.
- Romanazzi, P., Urbiztondo, J. y otros. (2007). *Estudios Hidrológicos – Hidráulicos – Ambienta-les en la Cuenca del Arroyo del Gato. (Módulo 1)*. La Plata: Universidad Nacional de La Pla-ta, Facultad de Ingeniería, ADH, Laboratorio de Hidrología.
- Ruberto, A.R., Depettris, C.A., Pilar, J.V., Prieto; A.N., Gabazza, S.E., Zárate, M. (2006). "Im-pacto hidrológico por incremento de las áreas impermeables en cuencas urbanas Subcuen-ca Cisterna, Resistencia, Chaco". En *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006*. Co-rrientes: Universidad Nacional del Nordeste. Resumen T-054.
- SPA (2009). *Plan de Gestión Integral para la recuperación y conservación del estado ecológi-co-ambiental del Arroyo del Gato y el mejoramiento de la calidad de vida de la población*. La Plata: Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/informesEspeciales/015_InformesEspeciales_ArroyoElGato.pdf,

CAPÍTULO 4

Canalización de ríos y arroyos

M. Florencia Yorlano

Una cuenca hídrica superficial, es una región geográfica delimitada por la divisoria de aguas, la cual discurre hacia el mar a través de una red de cauces secundarios que convergen en un cauce principal único y endorreico. Las cuencas son sumamente importantes desde el punto de vista ecológico, ya que permiten mantener la biodiversidad y la integridad de los suelos; además, son la principal fuente de agua dulce de la mayoría de las ciudades del mundo. La contaminación, explotación y/o uso irracional de este recurso vital reduce las posibilidades de utilizar el agua dulce, tanto para el consumo humano como también para el desarrollo de actividades económicas.

El ordenamiento de una cuenca hidrográfica comprende toda intervención humana destinada a garantizar la utilización sostenible de los recursos de la cuenca. Por urbanización de las cuencas se entiende el proceso por el cual las superficies urbanizadas crecen sobre los paisajes ambientalmente sensibles de lechos y bordes de los cauces fluviales (FAO, 2009).

Desde fines del siglo XIX, el desarrollo tecnológico ha permitido realizar enormes obras hidráulicas sobre diferentes tipos de cuencas. Se han construido presas río arriba para generar electricidad y suministrar agua a los usuarios locales y de río abajo. De este modo, las cuencas se han convertido en la fuente esencial de agua, energía y otros recursos naturales para el desarrollo agrícola, industrial y urbano. El encauzamiento de los ríos representa la modificación de su curso natural, hacia trazados más rectilíneos y secciones transversales geométricas, con el fin de acelerar el paso de las aguas, aumentando la pendiente del cauce y disminuyendo su rugosidad. La técnica empleada para contener los cursos de agua y acelerar su velocidad puede variar desde los dragados puntuales más respetuosos con la forma natural del cauce, hasta los revestimientos más drásticos con hormigón que rigidizan el contorno del cauce, aislándolo de sus riberas y llanura de inundación.

A causa de los encauzamientos, por un lado, se reduce el espacio fluvial –en su mayoría- de dominio público hidráulico y por otro, se pierde la dinámica morfológica del cauce, se eliminan numerosos hábitats del lecho y las orillas, la conectividad de las riberas; en última instancia, se degrada el paisaje fluvial.

Objetivos

- Estudiar la situación actual de la canalización del Arroyo del Gato.
- Analizar el impacto que genera la canalización de cursos de agua sobre los ecosistemas acuáticos.
- Considerar los impactos sociales de dichas canalizaciones, en áreas urbanizadas.
- Plantear alternativas viables para mejorar la calidad del ecosistema ribereño.

Canalización del Arroyo del Gato

En la actualidad, el comportamiento de los arroyos de la zona del Gran La Plata se aleja de lo convencional, debido a una serie de acciones antrópicas que se han llevado a cabo sobre sus cursos. Entre las acciones más frecuentes se destacan la integración de cuencas o trasvases, la ocupación irracional de las planicies de inundaciones, puentes y alcantarillas con un diseño inadecuado, obras de pavimentación y compactación de calles, construcción de caminos y terraplenes perpendiculares a la pendiente natural (SPA, 2009). Sumado a esto, la falta de una planificación adecuada desencadena procesos de contaminación de las aguas, principalmente por vuelcos residuales industriales y/o cloacales, desechos sólidos, fertilizantes y plaguicidas.

La cuenca del Arroyo del Gato es la más importante del Partido de La Plata, ya que en ella existen áreas densamente pobladas, donde residen más de 380 mil personas. Para éste capítulo, es importante recordar que el curso principal del Arroyo del Gato recibe el aporte de dos tributarios mayores: los arroyos Pérez y del Regimiento que cruzan, entubados y en diagonal, la trama urbana de La Plata. Éstos poseen una salida común a través de un conducto troncal que corre a lo largo de calle 11. Según la UNLP (2013), las secciones transversales a lo largo del recorrido del arroyo no han variado desde su canalización y perfilado trapezoidal, en la década del 70: *“con anchos de fondo de 10 metros, entre la Avenida 143 y la Avenida 25, siguiendo desde allí con un ancho de 15 metros hasta la Avenida 7; y con una apertura de 35 metros hasta su desembocadura”*.

El 2 de abril de 2013, la ciudad de La Plata y sus cercanías fueron afectadas por una lluvia de características extremas, registrándose casi 400 mm en pocas horas. Las ciuda-

des de Ensenada y Berisso, y los barrios platenses de Los Hornos, Villa Elvira y Tolosa fueron los más afectados junto con el Casco Fundacional de la ciudad. La cantidad de víctimas fatales confirmadas por organismos del estado fue de 51 personas, haciendo a un total de 1000 evacuados. No obstante, fuentes no oficiales aseguraron que las cifras *reales* duplicarían a las declaradas por el gobierno. Al margen del desarrollo inusual de la tormenta que tuvo lugar en la zona, fueron numerosas las causas que contribuyeron al desencadenamiento de la catástrofe. De acuerdo con un estudio realizado días después de la tormenta por la Facultad de Ingeniería de la UNLP (UNLP, 2013), se puede considerar que las principales problemáticas asociadas fueron:

- La existencia de zonas altamente urbanizadas emplazadas sobre los propios cauces y zonas aledañas. En esta ocupación de los valles de inundación radicaría el origen de los mayores daños registrados durante el evento.
- Excesivo crecimiento del cinturón hortícola platense (el principal del país) sin una planificación de escurrimiento hidráulico.
- Basura y otros objetos que tapaban las canaletas y desagües.
- Impermeabilización del suelo debido al incremento de la superficie pavimentada, habilitada por el Código de Ordenamiento Urbano (COU).
- Falta de mantenimiento de los arroyos que cruzan la ciudad.
- La inexistencia de una gestión integral del riesgo de inundaciones, hecho que debe señalarse como una causa trascendente al momento de analizar las consecuencias del evento, principalmente en lo referente a la pérdida de vidas. La falta de gestión del riesgo de inundaciones fue determinante en la falta de implementación de acciones preventivas, correctivas y de acción durante la emergencia.

En junio de 2013, la Cámara de Senadores de la Provincia convirtió en ley el permiso de endeudamiento por casi 2 mil millones de pesos (MlySP-PBA, 2015), para llevar adelante las obras hidráulicas necesarias en la región. Las obras planificadas y ejecutadas por la Provincia de Buenos Aires están destinadas a los municipios de La Plata, Berisso y Ensenada y prevén el saneamiento de la Cuenca del Arroyo del Gato, la construcción de los derivadores de las Avenidas 31 y 143 y la construcción de desagües pluviales en la cuenca del Arroyo Maldonado, Wutzerbon, Zoológico, del Barrio Universitario y Villa Dietri. A su vez, está prevista la adecuación del Arroyo Rodríguez y del Arroyo Don Carlos, Carnaval y Martín. Por último, el proyecto implica una instancia de saneamiento socio-ambiental, contemplando la relocalización de habitantes que viven en los márgenes de los arroyos.

Proyecto estructural canalización del Arroyo el Gato

El *Proyecto estructural de canalización del Arroyo el Gato* -nótese que el arroyo es nombrado incorrectamente tanto en los documentos, como en la página del Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aire (MlySP-PBA)- fue desarrollado con el objetivo de limitar el ingreso de los afluentes, Arroyo Regimiento y Arroyo Pérez, hacia el casco urbano. Tal encauce se llevó a cabo con el fin de captar los caudales de la cuenca superior mediante los derivadores de las Avenidas 143 y 31, y conducirlos hacia el Arroyo del Gato, desacaudalando las redes existentes en el casco urbano y disminuyendo los riesgos de inundación. El proyecto pretende adecuar la capacidad de este arroyo en todo su trayecto permitiendo mejorar la conexión de crecidas extraordinarias por influencia de su cuenca y de sus principales tributarios. La Figura 1 muestra la ubicación de los arroyos que atraviesan la ciudad de La Plata y que se encuentran total o parcialmente canalizados o entubados (UNLP, 2013).

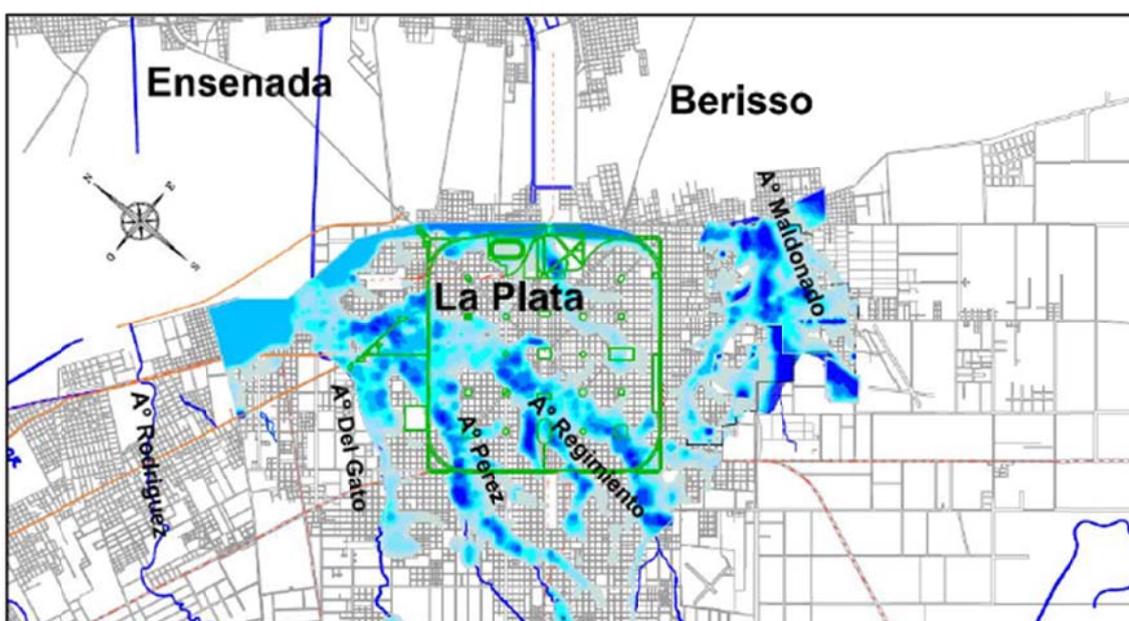


Figura 1. Incidencia de los arroyos "Arroyo del Gato", "Arroyo Pérez" y "Arroyo Regimiento" sobre el casco urbano de La Plata. Se esquematiza con línea azul el curso de los arroyos, y con tonalidades entre celeste y azul el nivel de agua que tenían las calles durante la inundación, siendo las zonas más afectadas las de tonalidad más fuerte con 2 metros de agua aproximadamente (Fuente: UNLP, 2013).

Para lograr los objetivos planteados en dicho proyecto, se ampliará y se conformará una sección rectangular de hormigón armado comenzando con una base de fondo de 40 m y finalizando con una base de 15 m, a lo largo de 12.6 km. Para dicha empresa, se utilizaron más de 50 mil m³ de hormigón y se removieron 1.000.000 m³ de suelo (MlySP-PBA, 2015). En la Figura 2 se muestran fotografías tomadas del Informe de Obras publicado por el MlySP-PBA en marzo de 2015. La Figura 3 fue tomada del mismo informe y muestra las distintas etapas del proyecto de canalización y entubamiento.



Figura 2. Vista aérea sección rectangular de hormigón armado y obra de canalización en construcción (Fuente: MlySP-PBA, 2015)



Figura 3. Proyecto estructural canalización A° El Gato (Fuente: MlySP-PBA, 2013).

Construcción de los derivadores de la Avenidas 143 y 31

El proyecto diseñado por el MlySP-PBA comprende la derivación de los excedentes del Brazo Norte del Arroyo Pérez, hacia el Arroyo del Gato, mediante la construcción de un conducto que atraviesa la Avenida 143. El derivador tiene una extensión total de 3554 m. y se inicia en la intersección de las Avenidas 44 y 143. Para la derivación de los excedentes del Arroyo Regimiento, hacia el Arroyo del Gato, se construirá un derivador por calle 31 en el tramo que va desde la Avenida 131 –a la altura del Arroyo del Gato- hasta la calle 68. El objetivo de ambos derivadores consiste en evitar crecidas extraordinarias de la cuenca. La Figura 4, muestra los conductos modelos con una altura de excavación variable entre 8 y 12m.



Figura 4. Túnel de hormigón armado por avenida 139, desde calle 531 hasta calle 37 (izquierday túnel de 4,3 m de diámetro (derecha) (Fuente: MlySP-PBA, 2015)

Para poder llevar a cabo el proyecto y poder disponer de las tierras que requieren saneamiento hidráulico, es necesario relocalizar a 444 familias instaladas en los márgenes del arroyo. Para ello, se deberán realizar viviendas provisorias y definitivas mediante el Programa Federal de Urbanización de Villas y Asentamientos Precarios. Las mismas cuentan con todos los servicios y con el número de dormitorios acordes a las necesidades de cada familia. Por otro lado, ha sido necesario deforestar 12 has. de bosque en la desembocadura al Río Santiago - parte inferior del curso- por lo que se deberán tomar medidas de compensación que incluyan un relevamiento de las especies a extraer y su posterior reforestación con especies autóctonas, a lo largo del arroyo. En dichas tareas participarán la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, la Facultad de Ciencias Naturales y Museo y algunas escuelas de la ciudad.

Impactos sociales por la canalización de cursos de agua

Las construcciones hidráulicas, en sus diversas tipologías y a lo largo de la historia de la humanidad, han ocupado un papel central en el intento humano de *control* del agua. La sociedad ha intensificado profundamente la intervención del hombre sobre el agua en sus estados y procesos naturales, y en particular en forma de construcciones hidráulicas, produciendo un fuerte impacto social, que puede ser positivo en muchos casos, pero negativos en otros (Pardo, 1998). De esta manera, se pueden enumerar:

Impactos positivos:

- Control de las inundaciones.
- Limpieza de “puntos negros” insalubres y focos de suciedad (alcantarillados, vertidos industriales, urbanos, entre otros)
- Mayor interconexión de espacios geográficos, favoreciendo las comunicaciones terrestres.

Impactos negativos:

- Peligro de desbordamientos violentos en una crecida, por el aumento de velocidad del agua.
- Impacto visual y estético. Posible desaparición de zonas de ocio y pesca.
- Malos olores, problemas de higiene y salud pública.
- Déficit de infraestructuras complementarias (sistemas de recogida y/o evacuaciones de aguas pluviales).
- Pérdida de referentes socioculturales históricos.
- Dificultad en la gestión de las actuaciones necesarias de mantenimiento de obras (por ejemplo, limpieza del cauce).

Impactos en el ecosistema por la canalización de cursos de agua

Los territorios ocupados por cuencas constituyen sistemas interactivos e integrados que vinculan los tramos superiores con los medios e inferiores de los cursos de agua, las tierras altas con las tierras bajas, los interfluvios con los cauces, y cada uno de sus componentes, tales como clima, suelos, agua y biota.

Disminución de la biodiversidad:

- **Destrucción de la vegetación de la ribera.** Esta vegetación que envuelve el curso de los ríos desempeña una función fundamental en el mantenimiento de la forma y estabilidad de los cauces, en la contención y minimización de los efectos de las inundaciones, en la calidad y temperatura de las aguas y en la cantidad y calidad de la flora y fauna que viven en el medio acuático. Los niveles de humedad de los márgenes constituyen una limitante para el desarrollo de la flora. Cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la diversidad de especies. Su estructura y disposición se encuentran influenciadas por factores hidrológicos, como niveles freáticos, régimen de caudales, procesos erosivos y sedimentológicos, e inundaciones.
- **Alteración de las condiciones físicas, químicas o biológicas de las aguas de los cauces.** Tendrá inmediatas repercusiones en los lugares de origen, reproducción, alimentación o reposo de las especies. Los ríos, esteros y quebradas constituyen corredores ecológicos por los que transita e interactúa la naturaleza y la biodiversidad. No se pueden intervenir los cauces fluviales si no se evalúa previamente sus efectos sobre los ciclos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos, especialmente en términos de conservación y protección de los hábitats de vida silvestre.
- **Desequilibrio geomorfológico.** Las formas de los cauces y su relación con los procesos de erosión y sedimentación (morfología y dinámica fluvial), están dadas por la fuerza de los caudales circulantes y el tipo de sedimentos, la forma del lecho, la pendiente y la vegetación riparia. Los factores que determinan el funcionamiento y las comunidades biológicas que

habitan los cursos de agua están relacionados con diferentes escalas espaciales. Naturalmente los cursos de agua poseen formas curvas, que dan lugar a un régimen de velocidades particular, con sectores rápidos y sectores más lentos permitiendo la existencia de *microhábitats*, en donde se albergan distintas especies de flora y fauna. Al reemplazar la morfología del curso por un trazado más regular y recto se pierden los microhábitats y la biota existente en ellos. Además, la pendiente longitudinal es una de las variables hidráulicas de mayor importancia en la energía del río.

Problemas de erosión y sedimentación:

Los procesos de erosión y sedimentación permiten a los ríos alcanzar un estado de equilibrio dinámico. La carencia de cobertura vegetal incrementa la escorrentía superficial, intensifica la erosión del suelo y los sedimentos erosionados pasan a formar parte del flujo fluvial. El agua puede transportar partículas cuyo tamaño y cantidad depende de la velocidad de la corriente: cuanto mayor es ésta, mayores son las partículas y la cantidad de sedimento acarreada. Cuando la carga de partículas es excesiva para un caudal cualquiera, las partículas sedimentan. Por el contrario, si la carga es inferior a la capacidad de transporte del agua, se genera erosión. Esta sedimentación natural contribuye a la creación de muchas características morfológicas de los ríos y, particularmente, tierras de inundaciones. El aumento de la carga acelera la evolución natural del sistema fluvial, pero al hacerlo plantea varios problemas. En los tramos de mayor pendiente y mayor velocidad de aguas, sofocan los organismos y reducen el alimento disponible. También inutiliza el sustrato para el desove de las especies que necesitan aguas rápidas bien ventiladas y fondos limpios de piedras. Aguas abajo, los sedimentos que se depositan en las orillas y en el fondo del río pueden dar por resultado la obstrucción gradual de todo el canal, hasta que queda por encima de la tierra que lo rodea. Además, mientras mayor sea la carga sólida de un río, mayor será el riesgo de crecida con el mismo monto de precipitaciones, dado que los sedimentos tienden a elevar el fondo de los lechos y con ello el agua del curso. Los sedimentos ofrecen sujeción a la vegetación, bloqueando los ríos de bajo orden e incluso desviándolos por nuevos cauces.

Desequilibrio en el balance hídrico:

Al impermeabilizar el cauce del agua se interrumpen los procesos infiltración hacia y desde los acuíferos y la recarga desde los mismos. En épocas de sequía el río deja de recibir aportes de aguas subterráneas por lo que se minimiza su caudal o se seca, destruyéndose el ecosistema acuático. El régimen de caudales de los sistemas fluviales es uno de los procesos más afectados, ya sea por transvases, desvíos, modificaciones en el uso del suelo que implican un aumento en las escorrentías naturales, entre otros; permitiendo un aumento de los caudales y una disminución de los niveles de estiaje.

Pérdida de la autodepuración y disminución de la calidad del agua:

Los cambios de la calidad del agua se deben a la carga de sustancias orgánicas e inorgánicas que transporta. La capacidad de autodepuración de un río depende principalmente del

caudal, que permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación al disminuir su toxicidad; la turbulencia del agua, que aportará oxígeno al medio favoreciendo la actividad microbiana; y la naturaleza y tamaño del vertido. La presencia en el agua de altas concentraciones de contaminantes, tanto biodegradables como no biodegradables, inhibe la actividad bacteriana que es la responsable principal de la autodepuración y queda una zona contaminada que resultará difícil recuperar si no es de forma lenta y/o artificial. Además muchos plaguicidas, fertilizantes y metales pesados, no desaparecen de los ambientes acuáticos sino que se acumulan en el sedimento o se incorporan a las plantas en forma de nutrientes. Tanto la sedimentación como la vegetación del río se ven afectadas por los procesos de canalización, dificultando el normal funcionamiento del ecosistema en la depuración del agua.

Mitigación: Restauración de ríos y arroyos

El crecimiento económico ha generado, en las últimas décadas, un aumento en la demanda de recursos hídricos. Asimismo, estos recursos están afectados por una serie de presiones, relacionadas especialmente a los tipos de uso y a las descargas generadas en los mismos. Las principales presiones sobre cuerpos de agua corresponden a alteraciones en su disponibilidad y calidad, siendo las más destacadas: extracción de agua, descargas de efluentes (puntuales y difusas) y alteraciones morfológicas (MMA, 2011). La disminución de agua dulce y el empeoramiento de su calidad, son determinantes en la capacidad de abastecimiento y la integridad ecológica de los ecosistemas ribereños.

La restauración de los ríos es hoy en día prioritaria en la mayoría de los países desarrollados y con ella se trata de recuperar los procesos naturales que determinan la forma y composición de los cauces fluviales, haciendo compatible el funcionamiento ecológico del río con las ocupaciones de sus márgenes (MMAyMRyM, 2007). Para llevar a cabo esta restauración, González del Tánago y García de Jalón (2006), consideraron que es necesario interpretar correctamente las causas de degradación de los distintos tramos fluviales y tener referencias de cuál es la estructura y el funcionamiento ecológico natural correspondiente a cada tramo, por lo que se debe realizar un diagnóstico de la problemática que tenga en cuenta:

- La relación de síntomas de degradación con presiones e impactos.
- La valoración de los atributos que todavía están en buen estado.
- La descripción de las deficiencias de estructura y funcionamiento.
- Una propuesta de actuaciones.
- Un orden de prioridades (evitar todo deterioro adicional a los ríos, conservar los tramos en mejor estado ecológico, disminuir las presiones e impactos de los ríos, restaurar y rehabilitar los tramos fluviales con deficiencias en su estructura y funcionamiento).

Los objetivos clave de la restauración de los tramos canalizados se centran en:

- Disponer del espacio fluvial necesario para que el río pueda desarrollar su propia dinámica;
- Recuperar el funcionamiento ecológico del río, a través de la conexión longitudinal y transversal del cauce y sus riberas;
- Reconstruir los elementos del paisaje fluvial.

Recuperación del espacio fluvial

La delimitación del territorio de movilidad fluvial en cada tramo, donde se puedan respetar y conservar la dinámica y los procesos del río, representa una medida necesaria para lograr la restauración ecológica de los ríos y sus riberas. Se propone la ordenación del territorio como una herramienta fundamental para abordar la problemática de las zonas inundables. En este sentido se remarca la necesidad de una coordinación entre administraciones y entre las políticas agrarias y forestales, los planes urbanísticos y los de infraestructuras y transportes.

Recuperación del funcionamiento ecológico del río

Se refiere a la recuperación de los procesos naturales del río, relativos a la interacción de los caudales con los sedimentos del lecho y las orillas, configurando la morfología del cauce y las relaciones biológicas entre las comunidades acuáticas. Para esto se propone reducir al máximo la longitud de la canalización y la altura del revestimiento, usar el procedimiento de menor impacto (menos rígido e inerte) para la canalización y sustituir estructuras más duras ya existentes por elementos que se integren mejor en el paisaje y permitan su revegetación. Se debe intentar conectar el cauce con sus riberas y llanura de inundación, restaurando la morfología de los terrenos adyacentes al río, propiciando con ello el desarrollo de una vegetación riparia compatible con la dinámica fluvial.

Reconstrucción del paisaje fluvial

Por último, debe tenerse en cuenta la recuperación del paisaje fluvial con sus atributos estéticos que favorecen el disfrute del río y contribuyen a la cultura y educación ambiental de los pueblos. El paisaje creado por un río responde al funcionamiento integral de su cuenca vertiente donde el trazado y dimensiones del cauce, así como la altura y continuidad de la vegetación de sus riberas, no son más que una consecuencia de los procesos naturales. Allí intervienen el régimen de caudales, las condiciones hidrológicas y la presencia de especies adaptadas a dicho ambiente. El factor de mayor importancia en el paisaje de los ríos es su estructura de

corredor, formando una vía más o menos sinuosa a través de la cual se pueden desplazar numerosas especies.

Una vez establecidas las bandas protectoras cercanas a los márgenes de los cursos de agua o zonas buffer y la disminución de las pendientes de los márgenes interiores, la revegetación se realizará de forma natural en un corto plazo. No obstante, este proceso puede ser acelerado mediante la siembra o la plantación de especies nativas dentro de los límites de la franja. La revegetación debe efectuarse siempre posteriormente a la recuperación de la morfología del cauce. Se debe efectuar un correcto mantenimiento de las obras realizadas, así como también un plan de seguimiento y evaluación post-proyecto.

Conclusiones

La canalización de los cursos de agua afecta significativamente a los ecosistemas acuáticos y altera el funcionamiento integral de las cuencas. Por tanto, debiera prevenirse la realización sobre ellos de toda aquella acción antrópica que posteriormente conduzca a la canalización como la solución de los problemas generados. Las zonas ocupadas por el río o arroyo, y sus riberas, deberían ser consideradas como hábitats preferenciales para la protección de la naturaleza y la biodiversidad, y el control climático. Son capaces de brindar seguridad a la población frente a las amenazas naturales, tales como inundaciones y anegamientos. Además, se pueden destinar a usos recreativos, siempre que se resguarde la calidad del ecosistema. Se debe realizar una planificación territorial sobre los sistemas de cuencas considerando la localización, tamaño y distribución espacial de las ciudades y los usos del suelo. La sociedad debe comprender y exigir que se respeten los espacios que garanticen la capacidad de resiliencia de los territorios ante las variaciones de la naturaleza. Por otro lado, toda obra que afecte al equilibrio geológico e hidrológico de las cuencas hidrográficas requiere normativas de seguridad, estrictas y bien fundadas para evitar desastres ambientales que puedan afectar severamente a la población.

Es importante avanzar en la educación ambiental de la sociedad en su conjunto, mejorando su percepción sobre el valor de los ríos en buen estado ecológico, y en los cambios de hábitos y actitudes frente a los mismos. La restauración de ríos y arroyos es una buena opción para recomponer los ecosistemas naturales, siempre y cuando se haga un estudio exhaustivo de las características del lugar, se propongan actuaciones acorde a éstas, y exista la cooperación del gobierno y de la sociedad. En países desarrollados, la restauración ambiental de los sistemas naturales degradados por el hombre es una actividad cada vez más demandada por la sociedad, a la que actualmente se dedican importantes esfuerzos de investigación y presupuestos económicos para su puesta en práctica. En Argentina, gran parte de los ríos no presentan un estado ambiental adecuado debido a un uso intensivo y a una explotación de sus recursos sin considerar la integridad de su funcionamiento como ecosistemas. A nivel estatal se requiere un

nuevo enfoque en su gestión y aprovechamiento, acorde con los principios de desarrollo sostenible y de conservación de la biodiversidad.

Desde el punto de vista ecológico, el Arroyo del Gato está completamente degradado desde hace muchos años. La canalización es una solución para los grupos asentados en zonas naturalmente inundables, acelerando el paso de las aguas y minimizando las crecidas. Por otro lado, el revestimiento de hormigón aniquilaría el sistema natural y los demás servicios que este presta, con bajas posibilidades de llevar a cabo, en un futuro, algún plan de restauración.

Referencias

- 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*. La Plata: Departamento de Hidráulica. Facultad de Ingeniería, UNLP.
- González del Tánago, M., García de Jalón, D. (2006). *Restauración de Ríos. Guía Metodológica para la elaboración de proyectos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Programa A.G.U.A.
- FAO (2009). *¿Por qué invertir en ordenación de cuencas hidrográficas?* Roma: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO).
- Pardo M. (1999). "El impacto social (positivo y negativo) de las construcciones hidráulicas". En: Arrojo Agudo, P. y Martínez Gil, F.J. (Coords.), *El agua a debate desde la Universidad. Hacia una Nueva Cultura del Agua*. Zaragoza: I Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas.
- MlySP-PBA (2015). *Obras en la región capital*. Informe de Obras. Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas. Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: www.mosp.gba.gov.ar/sitios/agato/imforme_obras.pdf
- MMAyMRyM (2007). *Restauración de Ríos. Bases de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España.
- MMA (2011). "Recursos Hídricos. Capítulo 8". *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Santiago de Chile: Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.
- SPA (2009). *Plan de Gestión Integral para la recuperación y conservación del estado ecológico-ambiental del Arroyo del Gato y el mejoramiento de la calidad de vida de la población*. La Plata: Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/informesEspeciales/015_InformesEspeciales_ArroyoElGato.pdf,

CAPÍTULO 5

Escorrentías y contaminación de las aguas

Bruno Federico Caram

Introducción

Se llama escorrentía o escurrimiento a la corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales. En hidrología la escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema de suelo. La proporción de agua que sigue cada uno de estos caminos dependerá de factores como el clima, el tipo de roca o la pendiente del terreno. De modo similar, en lugares en los que hay abundantes materiales sueltos o muy porosos, es muy alto el porcentaje de agua que se infiltra. Según la teoría de Horton, se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales. Esta deficiencia se revierte con la teoría de la saturación, aplicable a suelos de zonas de pluviosidad elevada y constante. Según dicha teoría, la escorrentía se formará cuando los compartimentos del suelo estén saturados de agua. La escorrentía superficial es una de las principales causas de erosión a nivel mundial. Suele ser particularmente dañina en suelos poco permeables, como los arcillosos y en zonas con una cubierta vegetal escasa.

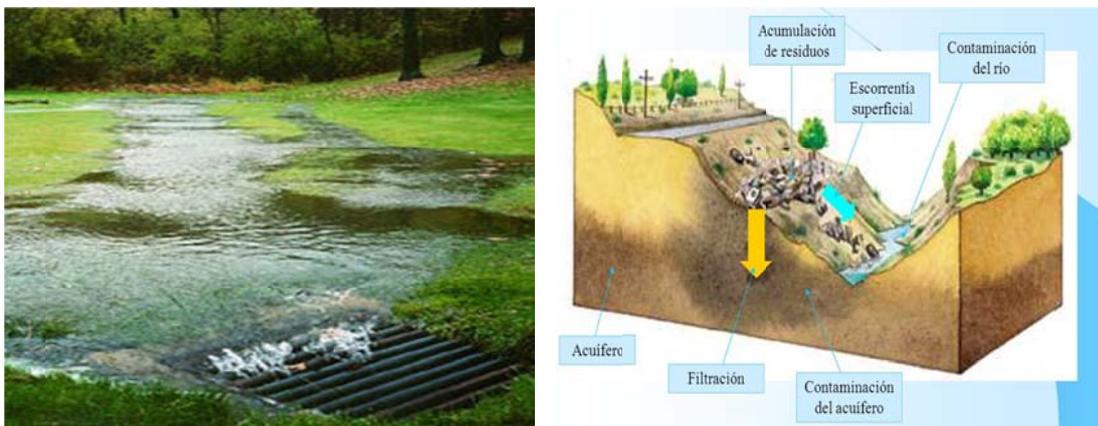


Figura 1 Ejemplificación del fenómeno de escorrentía y su relación con la infiltración y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Fuente: Wikipedia)

La contaminación por una fuente no puntual se refiere a la contaminación del aire y el agua desde una fuente de contaminación difusa. Las escorrentías son un caso particular de una fuente no puntual de contaminación hídrica que afecta los cuerpos de agua que puede provenir de áreas agrícolas o lavado de desechos que drenan hacia los ríos. Si bien todos estos contaminantes se han originado en una fuente puntual, la capacidad de transporte a gran escala y las múltiples fuentes de contaminación la transforman en una fuente de contaminación no puntual. La contaminación por parte de una fuente no puntual puede ser contrastada con contaminación de una fuente puntual, en la cual ocurren vertidos hacia cuerpos de agua o a la atmósfera en una única ubicación.

La contaminación por parte de una fuente no puntual puede ser producto del aporte de numerosas fuentes diferentes, por lo cual suele resultar complejo hallar soluciones específicas para resolver el problema, haciéndola difícil de regular. Este tipo de contaminación es actualmente la principal causa de contaminación del agua en los Estados Unidos, particularmente en lo referido a los escurrimientos contaminados procedentes de la agricultura. Las aguas fluviales contaminadas por el lavado de carreteras y autopistas y césped (a veces conteniendo fertilizantes y plaguicidas) que luego drenan en escorrentías urbanas representan otra importante fuente de contaminación no puntual.

Hay quienes consideran a estos aportes como fuentes puntuales porque muchas veces entran en los sistemas de escurrimiento municipales y luego son descargados, a través de cañerías, a los cursos de agua de superficie. Algunos pueden desembocar directamente en los espejos de agua, especialmente en regiones en desarrollo y suburbanas. A diferencia de otros tipos de fuentes puntuales, tales como las descargas industriales, la contaminación por escorrentías urbanas no puede ser atribuida a una sola actividad o incluso a un grupo de actividades. Por ello, son tratadas como un verdadero problema ambiental que amenaza la calidad de las aguas superficiales y las municipalidades trabajan para regularla, prevenirla y proteger de ella a los cursos de agua.

Objetivos

Debido a la gravedad de la problemática mencionada es que en el presente trabajo se propone investigar el fenómeno partiendo desde una perspectiva histórica, hasta su abordaje actual en el mundo, intentando analizar las diferentes aristas de la temática y obtener una conclusión acerca del estado del arte en cuanto a la contaminación difusa por escorrentías en cuencas hídricas y particularmente su situación en la cuenca del Arroyo del Gato.

Evolución histórica del problema

El control de las aguas generadas en entornos urbanos, tanto de origen residual como pluvial, es una cuestión que se remonta a las civilizaciones más antiguas. Se tiene constancia de que la civilización Mesopotámica, año 2500 a.C., construía canalizaciones de evacuación de aguas residuales y pluviales en ciudades como Babilonia o Ur. Pero sin duda alguna, los mayores avances se produjeron bajo el Imperio Romano, en el siglo VI a.C. con la construcción de colectores bajo las calzadas: la cloaca romana.

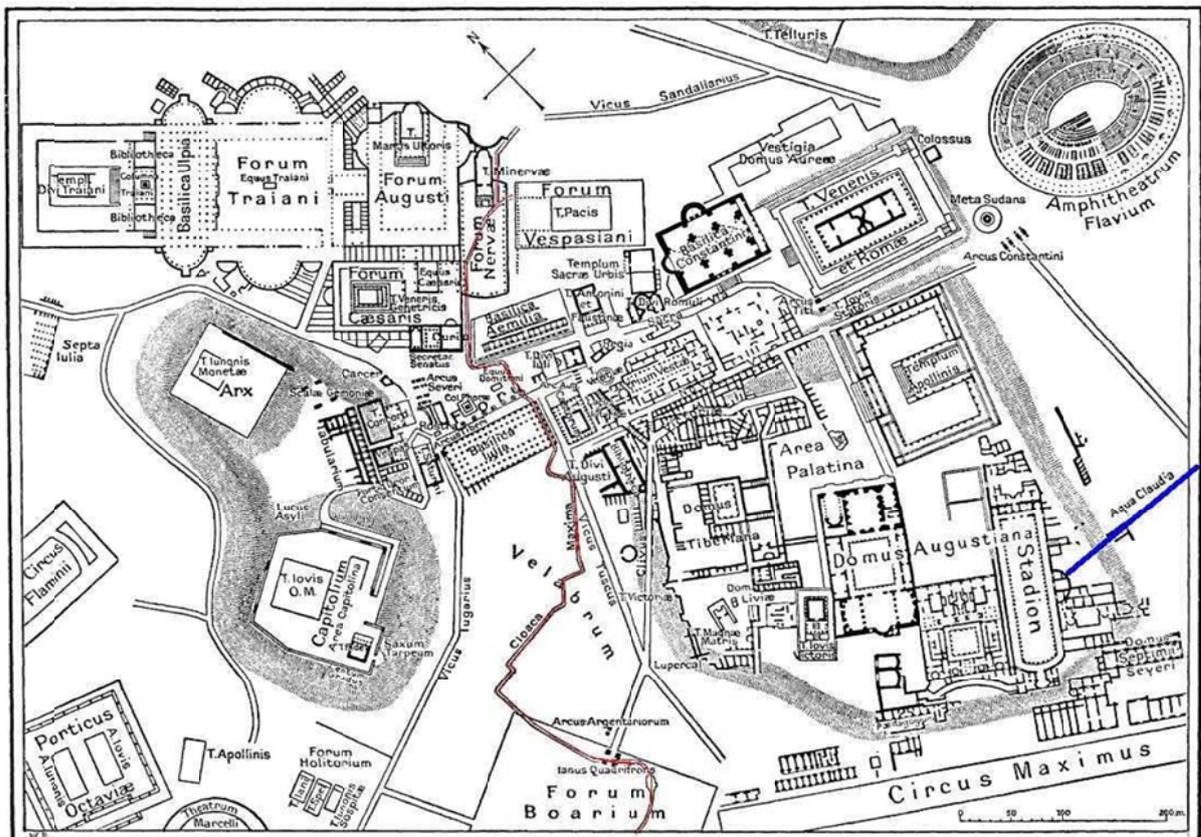


Figura 3. Trazado de la Cloaca Máxima en Roma (Fuente: Wikicommons).

Durante la Edad Media y hasta bien entrado el siglo XVIII el problema no presentó evoluciones significativas sino más bien se produjo una cierta regresión. Así, Londres no tuvo infraestructuras de evacuación cubiertas hasta el siglo XV. Hacia el siglo XVIII, en muchas áreas de París, todavía había colectores a cielo abierto. En cualquier caso, se trataba de infraestructuras poco planificadas cuyo mantenimiento resultaba difícil, a veces imposible. Con el crecimiento de las ciudades en el siglo XIX, las redes de colectores se desarrollan paralelamente y es entonces cuando la cuestión recibe un impulso considerable. A principios de este siglo comienzan a adoptarse una serie de criterios técnicos para el diseño y construcción de las infraestructuras, tanto de aguas residuales como de aguas pluviales. Además, es entonces cuando surge uno de los grandes debates, todavía hoy en discusión: las redes separativas frente a las redes uni-

tarias. Las redes de saneamiento unitarias tienen un solo conducto para transportar las aguas residuales y pluviales. En las separativas las aguas pluviales y las aguas residuales se evacúan por diferentes conductos, existe una doble red. No obstante, sea cual fuere la tipología de red, la práctica habitual seguía siendo verter las aguas recogidas a los medios receptores naturales. A finales de siglo, se comenzó a relacionar esta práctica con algunas cuestiones de salud pública. En el Congreso Internacional de Higiene de Viena, celebrado en 1888, se puso de manifiesto que las aguas de escorrentía generadas en zonas urbanas estaban muy contaminadas (Malgrat, 1995). Durante el siglo XIX, el control y el tratamiento de las descargas al medio receptor era muy reducido. Las redes se diseñaban con la premisa de verter la máxima cantidad que el sistema receptor fuese capaz de diluir: surge el criterio de la dilución, que posteriormente fue evolucionando y que ha estado vigente hasta hoy en día, aunque sea obsoleto. A principios del siglo XX, los sistemas de saneamiento comienzan a adoptar la morfología que tienen hoy en día. En las redes unitarias, se pretende enviar a tratamiento la mayor cantidad de flujo posible; evidentemente, se tiende a tratar todo el caudal generado en tiempo seco (aguas residuales). En tiempo de lluvia, cuando se supera la capacidad de tratamiento de la planta depuradora, así como la de los interceptores que conducen el agua a la misma, el exceso es vertido directamente en el medio receptor, generando las descargas de sistemas unitarios (DSU). En un principio, se pensó que estas descargas, si cumplían con ciertas restricciones de dilución, podían ser perfectamente asumibles por el medio. No obstante, hacia 1960 los vertidos procedentes de escorrentías urbanas se revelan como una de las principales causas de la degradación de los medios receptores, sobre todo, aguas superficiales continentales. Es a partir de entonces cuando se comienza a estudiar el problema y a plantear métodos de control y tratamiento de las DSU, así como a introducir criterios medioambientales en las pautas de diseño de sistemas de drenaje y saneamiento urbanos.

En la década del 70 en Estados Unidos, comienzan a surgir las primeras ideas tendientes a resolver el problema de las DSU (Field y Lager, 1975). La Federal Water Control Act Amendments (1972) deja patente la problemática e insta al planteamiento de soluciones. A esta altura, se es consciente de que las aguas de lluvia, aunque estén separadas, constituyen una importante fuente de contaminación debida a los sedimentos que arrastran y los contaminantes asociados a ellos. Además, dada la variabilidad del proceso de lluvia, resulta muy difícil establecer condiciones medias de diseño para el tratamiento de las aguas de tormenta.

La contaminación generada por las escorrentías de aguas de tormenta puede gestionarse en instantes muy diferentes del proceso. Así, se puede realizar un control en origen de la contaminación (limpieza de calles, por ejemplo), en la propia red de colectores o al término de ésta, en el punto de concentración o vertido. Todo esto, puede combinarse con la capacidad de tratamiento adicional que pueda ofrecer la planta depuradora.

Fuentes de información

El número de publicaciones referentes a cuestiones relacionadas con el control de la contaminación de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia ha ido creciendo de forma notable en los últimos años conforme ha ido evolucionando el estado del conocimiento al respecto. A modo de ejemplo, si se buscan en la base de datos de la Web Science publicaciones con el descriptor genérico “Best Management Practice” o “Sustainable Urban Drainage System”, acompañados de la restricción “water”, se observa la evolución que ha sufrido este tipo de referencias últimamente.

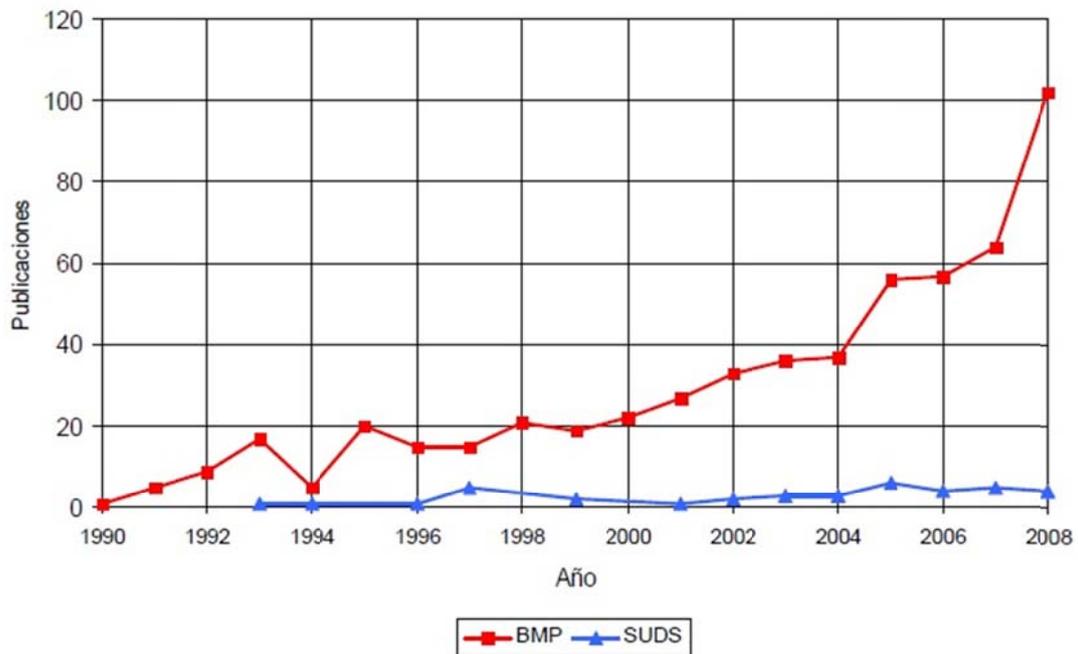


Figura 4. Publicaciones con el descriptor “Best Management Practice” y “Sustainable Urban Drainage System” en Web Science (Fuente: elaboración propia).

En la Figura 5 se representa el país de origen de las publicaciones estudiadas, entendiendo como tal el de la universidad, centro o institución de adscripción del primer autor de la referencia. Estados Unidos es, sin lugar a dudas, el país pionero en la materia, como se desprende de la multitud de metodologías de diseño que ha desarrollado. Canadá es, igualmente, una fuente importante de referencias. Respecto a España, si bien tiene un alto porcentaje de publicaciones no refleja una gran variedad de métodos, además de que en su mayoría corresponden a metodologías de enfoques probabilísticos.

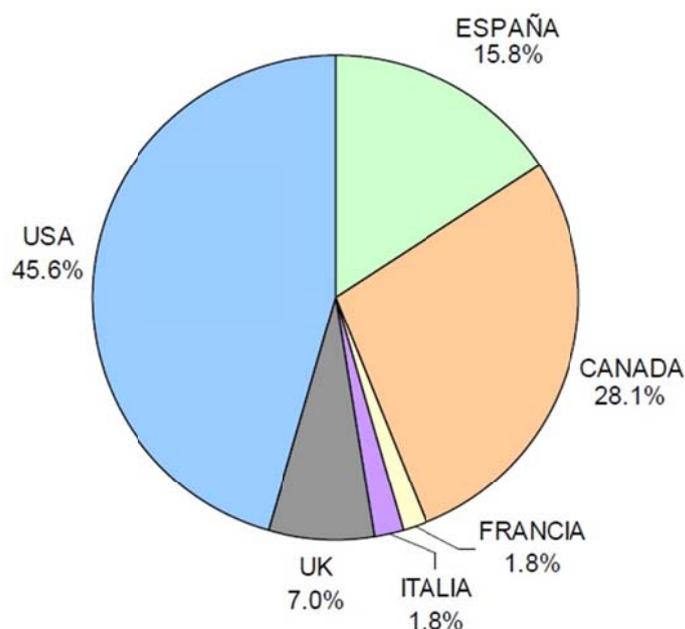


Figura 5. Procedencia de las referencias consultadas (Fuente: elaboración propia).

La contaminación de la escorrentía urbana

Origen de la contaminación

Las deposiciones atmosféricas y el consecuente lavado de sustancias son la principal fuente de contaminación de las aguas de escorrentía urbana, pero no la única. Los orígenes de los contaminantes son de diversa naturaleza. Sustancias peligrosas o nocivas tales como plomo, dióxido de azufre, hidrocarburos u óxidos de nitrógeno, se añaden a estas aguas procedentes del tránsito. Materia orgánica, bacterias y patógenos se incorporan a partir de basuras depositadas en las calles. Hojas, ramas y tierras son arrastradas de parques y jardines por la lluvia. Los tipos de contaminantes en las aguas de escorrentía urbanas y sus principales fuentes son:

Tabla 1: Tipos de contaminantes en las aguas de escorrentía urbanas y sus principales fuentes.

Tipo de contaminante	Principales fuentes
Bacterias	Excrementos de animales, residuos orgánicos
Metales	Vehículos y pequeña industria
Nutrientes	Parque y jardines, residuos orgánicos
Aceites y grasas	Vehículos, residuos de restauración
Pesticidas	Parques y jardines
Sólidos en suspensión	Obras, deposiciones atmosféricas, erosión del suelos
Sustancias tóxicas	Vehículos y pequeña industria

Fuente: elaboración propia

Fenómenos de acumulación y lavado

Un aspecto importante que tiene trascendencia a la hora de analizar las medidas para mitigar el impacto de las DSU, es el proceso de acumulación y lavado de la contaminación en la cuenca. Las investigaciones pioneras en este campo corresponden a Sartor y col. (1974). Desarrollos posteriores han ratificado que el proceso de acumulación de suciedad en la superficie tiende a un estado de pseudo-equilibrio, por lo que llega un momento en el que la tasa de acumulación de contaminación se iguala con la tasa de eliminación de la misma. En términos matemáticos, varios autores coinciden en postular un modelo exponencial de acumulación, del tipo:

$$P(t) = P_0 (1 - e^{-kt})$$

siendo $P(t)$ la cantidad de contaminante en superficie, P_0 contaminación inicial y K es la constante del modelo. En cuanto al lavado, este se produce en el instante de la tormenta, quedando la sucesión de acumulación-lavado como ilustra la Figura 6.

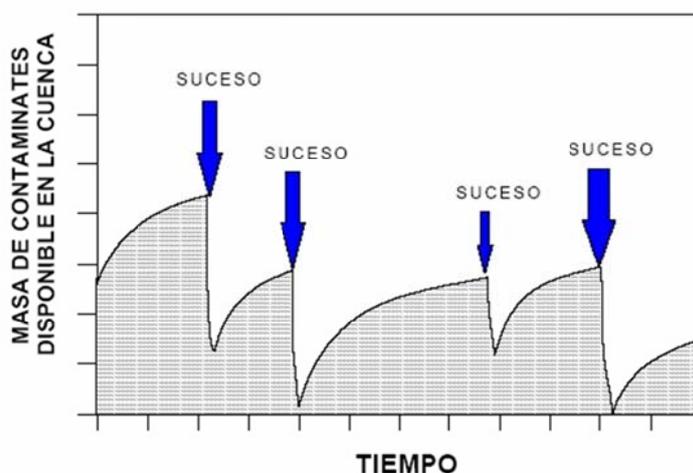


Figura 6. Esquema simplificado del proceso de acumulación y lavado de la contaminación de una cuenca (Fuente: adaptado de Beneyto González-Baylín, 2004)

Patrones de contaminación de la escorrentía urbana

Los diversos estudios realizados a lo largo de los últimos años ponen de manifiesto una serie de ideas a tener en cuenta respecto de la contaminación de las escorrentías de aguas pluviales en redes separativas y unitarias (Barro y Suárez, 2004).

La cantidad de elementos que intervienen en la generación y movilización de la contaminación de las escorrentías urbanas redundando en una variabilidad de concentraciones y polutogramas difícil de caracterizar. Muchos autores proponen, de forma simplificada, abordar esta caracterización a partir de la concentración media de suceso (CMS) que no es sino una concentración media del suceso ponderada con el caudal:

$$CMS = \frac{\int_{t=0}^T Q(t)C(t)dt}{\int_{t=0}^T Q(t)Cdt}$$

Siendo Q(t) y C(t) el caudal y la concentración del contaminante analizado en el instante t del evento de duración T.

En redes separativas de pluviales las concentraciones de sólidos en suspensión (SS) y DQO suelen ser importantes, aunque generalmente inferiores a las de las redes unitarias. Los SS tienen una composición básicamente mineral (del orden del 70%), estando gran parte de los contaminantes fijados a éstos. Normalmente, la relación de biodegradabilidad (DQO/DBO₅) es débil, del orden de 4 a 6, contra los 2 a 2.5 de un agua residual estándar de tiempo seco. Por último, existe una presencia muy importante de metales pesados e hidrocarburos.

En redes unitarias, la fracción mineral de los SS puede reducirse hasta el 40%. La relación entre SS volátiles y SS disminuye durante el desarrollo del suceso; se puede pasar de un 80% en tiempo seco a la mitad en tiempo de lluvia, lo que se traduce en un aumento del contenido mineral a lo largo de los sucesos. La relación entre DQO y DBO₅ es más elevada que para tiempo seco, pero inferior a la que se detecta en redes separativas, mostrando los contaminantes de una red unitaria una mayor biodegradabilidad. Además, comparadas con aguas residuales urbanas, tienen concentraciones más altas de DQO, SS y metales pesados. Éstos últimos están en una gran proporción fijados a los SS.

En las tablas 2 y 3 se recogen los valores de contaminación en las DSU según diversas fuentes de la literatura y según los datos de la campaña de campo realizada en cuencas piloto de cinco ciudades españolas.

Tabla 2: Valores de concentraciones medias en DSU desde redes unitarias.

Parámetros de calidad del agua	Alemania (Varias fuentes)	Gran Bretaña Ellis (1989)	Novotny (1991)	Larger (1977)	Ellis (1986)	Agua residual típica (Metcalf-Eddy)
Sólidos en suspensión						
SS (mg/L)	45-55	176-647	100-1100	273-551	100-1000	100-350
DBO ₅ (mg/L)	12-82	43-225	60-200	59-222	60-200	100-400
DQO (mg/L)	80-230	250-530		264-481		250-1000
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	3.8-11.7	3.1-8.0				12-50
Nitrógeno total (mg/L)	6.7-16.3	2.1-28.5	3-24	4.3-16.6	4-17	20-85
Fósforo total (mg/L)	1.8-2.7	6.5-14	1-11	1.23-2.78	1.2-2.8	4-15
Plomo (mg/L)	0.01-0.1	0.08-0.45	0.4	0.14-0.6	0.14-0.6	
Cinc (mg/L)	0.06-0.4	0.1-1.07				
Coliformes totales (UFC/100 ml)			10 ⁵ -10 ⁷			10 ⁶ -10 ⁹
Coliformes (UFC/100 ml)		10 ⁵ -10 ⁶		10 ² -10 ³	10 ⁵ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸

Fuente: MMA 2002

Según se desprende de los valores de la Tabla 3, se observan valores de DQO muy superiores a los referenciados en la literatura, del mismo modo que con la DBO₅. No obstante, los sólidos, nutrientes y metales se mueven en los rangos habituales.

Todo lo anterior pone de manifiesto que, lejos de ser aguas limpias, las aguas de escorrentía urbana suponen un problema de contaminación grave que merece tanta atención como la depuración de las aguas residuales. No obstante, la distinta naturaleza de ambos procesos hace que no se puedan adoptar las mismas soluciones en uno y otro caso.

Tabla 3: Concentraciones medias de suceso registrados entre todas las cuencas piloto estudiadas.

Concentración media de suceso (mg/L)	Valor máximo	Valor medio
DQO	1003.6	702.6
DBO ₅	388.8	320.9
COT	53.2	38.1
NTK	46.4	36.9
NH ₄ ⁺	22.0	15.9
P-Total	9.1	6.9
SS	733.4	530.6
SSV	486.7	318.7
SD	964.4	537.6
SDV	326.0	227.4
ST	1193.8	1068.2
Turbidez (NTU)	222	173.1
Conductividad (mS/cm)	5.8	1.8
Temperatura (°C)	22.4	19.1
pH	8.0	7.5
Cu(dis.)	0.050	0.030
Zn(dis.)	0.832	0.420
Pb(dis.)	0.384	0.149
Hidrocarburos	5.75	3.84

Fuente: MMA 2002

El primer lavado

Concepto y factores implicados

Durante un episodio de precipitación, las cantidades de contaminación movilizadas no suelen ser constantes a lo largo del evento sino que suelen ser mayores al principio del mismo, dando lugar a altas concentraciones en los polutogramas registrados en la red (Figura 7). Este fenómeno se conoce como primer lavado, o *first flush* en la literatura anglosajona, y es el responsable de los mayores impactos de las DSU sobre los medios receptores.

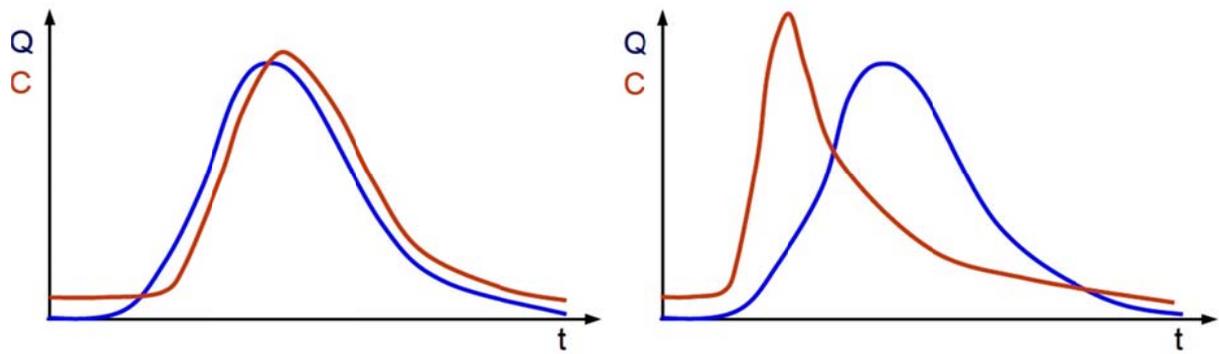


Figura 7. Hidrograma (Q) y polutograma (C) en una cuenca sin primer lavado (izquierda) y con primer lavado (derecha) (Fuente: adaptado de Bertrand-Krajewski y col, 1998).

Los factores que tienen una mayor incidencia en la aparición del primer lavado ante un evento de lluvia son los siguientes (Gupta and Saul, 1996):

- a) La hora del día.
- b) Las características y la duración del tiempo seco antecedente.
- c) La intensidad de la precipitación.
- d) La morfología de la red de colectores.
- e) La morfología de la cuenca.
- f) Los sedimentos depositados en la red en tiempo seco.

Curvas adimensionales de movilización de masas

Una forma de condensar el análisis del primer lavado y de las masas de contaminación movilizadas lo constituyen las curvas de movilización de masas (Griffin y col., 1980). Éstas representan en las abscisas el porcentaje de volumen de escorrentía acumulado normalizado (con el volumen total del evento) y en ordenadas el porcentaje de masa acumulada normalizada (con la masa total movilizada) del contaminante analizado.

Con esta representación, las curvas se encuentran fundamentalmente en dos regiones:

- a) Si coincide o es próxima a la bisectriz principal, entonces, la concentración de contaminante es constante durante todo el evento.
- b) Si se encuentra claramente por encima de la bisectriz principal, entonces se produce primer lavado; la punta de contaminación se adelanta a la punta de caudal (Figura 8).

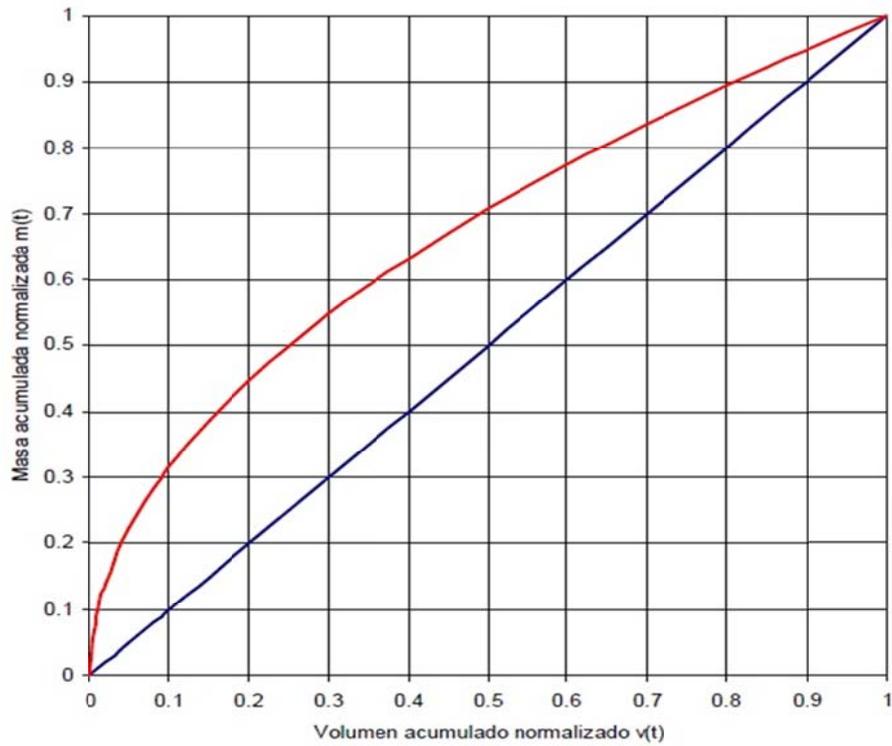


Figura 8. Curva de movilización de masas de un evento con primer lavado (Fuente: adaptado de Griffin y col., 1980).

Los valores normalizados $v(t)$ y $m(t)$ de escorrentía y masa acumulados se definen en los siguientes términos:

$$v(t) = \frac{\int_{t=0}^t Q(t)dt}{\int_{t=0}^T Q(t)dt} = \frac{V(t)}{V_{total}}$$

$$m(t) = \frac{\int_{t=0}^t Q(t)dt}{\int_{t=0}^T Q(t)dt} = \frac{M(t)}{M_{total}}$$

Donde $V(t)$ y $M(t)$ son el volumen de escorrentía y la masa movilizada en el evento hasta el instante t y V_{TOTAL} y M_{TOTAL} los respectivos valores al final del evento (instante $t=T$). La curva de movilización de masas puede ajustarse a una expresión potencial del tipo:

$$m = v^b$$

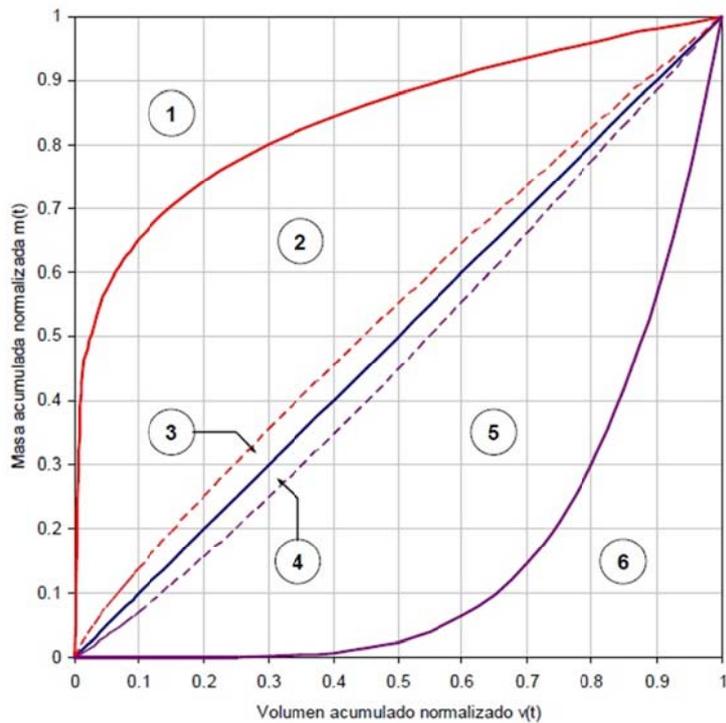


Figura 9. Curvas límite de movilización de masas y zonas resultantes (Fuente: adaptado de Bertrand-Krajewski y col., 1998).

El valor del exponente b evalúa el grado de alejamiento de la curva respecto de la bisectriz principal, esto es, la claridad con la que se produce first flush o no. Saget y col. (1995) consideran que, si el 80% de la carga contaminante es movilizada por menos del 30% del volumen inicial del suceso, entonces ocurre claramente el primer lavado. Esto se corresponde con un valor del exponente $b=0.185$, que es el que separa las regiones 1 y 2 del gráfico de la figura 9. Así, si la curva de movilización de masas se sitúa en la región 1, el primer lavado es importante y notorio mientras que si pertenece a la zona 2, el first flush existe pero su entidad es más moderada. El valor del exponente que separa las zonas 2 y 3 es $b=0.862$. Entre la zona 3 y la bisectriz principal, el fenómeno es despreciable, es decir, la concentración de contaminante es prácticamente constante en el evento. Las zonas 4, 5 y 6 son simétricas de las anteriores y los significados respecto del primer lavado son antagónicos, esto es, se produce un retraso de la punta de contaminación. Evidentemente, en todas ellas $b>1$. En los trabajos desarrollados por Saget y col. (1995) en Francia, se analizan un total de 80 tormentas en 7 cuencas con redes separativas y 117 sucesos en 7 cuencas con redes unitarias, obteniéndose los siguientes resultados respecto del exponente b :

Tabla 4: Rangos del exponente b.

Contaminante	Sistema	Mínimo	Medio	Máximo	Desviación típica
SST	Pluvial	0.152	0.769	2.023	0.307
	Unitario	0.274	0.926	1.506	0.186
DQO	Pluvial	0.282	0.681	1.375	0.215
	Unitario	0.265	0.852	1.233	0.171
DBO ₅	Pluvial	0.271	0.669	1.379	0.238
	Unitario	0.449	0.832	1.203	0.170

Fuente: MMA 2002

También se analizaron las curvas de movilización de masas en las cuencas piloto, todas ellas unitarias, de distintas ciudades españolas obteniéndose los siguientes valores promedio para el exponente b en cada cuenca.

Tabla 5: Valores medios del exponente b por cuenca piloto.

Contaminante	Sevilla	Madrid	Barcelona	Vitoria	Valencia	Máximo	MEDIO
SST	0.74	0.70	0.80	0.56	0.90	0.90	0.74
DQO	0.78	0.74	0.80	0.61	0.86	0.86	0.76
DBO ₅	0.76	0.73	-	0.71	0.85	0.85	0.76

Fuente: MMA 2002

Nótese como, según los valores medios obtenidos, los tres contaminantes se mueven en la zona 2, pero próximos a la zona 3, esto es, existe primer lavado, pero éste es débil. Por otra parte, otro aspecto que no debe ser despreciado es la dependencia del exponente b con el tamaño de la cuenca.

Los contaminantes más frecuentes en las aguas de escorrentía urbana

Sólidos en suspensión

Son partículas sólidas de naturaleza heterogénea que llevan asociados una gran cantidad de diferentes contaminantes. Se detectan a simple vista, ya que dan turbidez a las aguas. Son los elementos que aparecen con mayor frecuencia.

Actúan como centros activos, favoreciendo la adsorción en su superficie de sustancias y microorganismos. Las principales fuentes de estos contaminantes son:

- Aguas domésticas e industriales
- Materiales sólidos erosionables de la cuenca urbana
- Depositiones atmosféricas en tiempo seco.

Los efectos de una elevada concentración de sólidos en suspensión el agua de escorrentía sobre el medio receptor son:

- Un incremento de la turbidez reduciendo el paso de la luz y alterando el desarrollo de la vegetación (algas)

- La acumulación de fangos en zonas de fondo, lo que altera la morfología de los cauces
- Afectaciones a la fauna y alteraciones estéticas del medio.

Materia orgánica

Se compone de proteínas, carbohidratos, aceites y grasas, que son elementos naturales, pero también por componentes sintéticos como detergentes, pesticidas y disolventes orgánicos. Su aparición en el agua provoca serios problemas al hacer desaparecer el oxígeno en el medio receptor, lo que provoca la muerte de la fauna. Además da color, sabor y olor al agua, cuando no debiera tenerlos y provoca la aparición de trihalometanos, sustancias con una elevada toxicidad. Para medir su cantidad en las aguas se usa la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) o DQO (demanda química de oxígeno).

Elementos patógenos

Microorganismos y virus procedentes de los desechos de aves y animales domésticos que se acumulan en zonas impermeables. Los patógenos provocan la insalubridad de las aguas que los contienen y aumentan la probabilidad de transmisión de enfermedades.

Nutrientes

Se consideran nutrientes al fósforo, al nitrógeno y a sus compuestos derivados. Su problemática se debe a que producen problemas de eutrofización (aumento de la turbidez, proliferación de algas, grandes variaciones de oxígeno disuelto entre el día y la noche, aparición de compuestos tóxicos).

Metales pesados

Su principal característica es su elevada toxicidad sobre microorganismos, plantas y animales, incluido el ser humano. Las concentraciones presentes de este tipo de metales en las aguas de escorrentía son muy variables, dependen de los usos del suelo en la cuenca urbana, de la densidad del tráfico y de las emisiones de industrias cercanas. Los metales pesados más problemáticos en las aguas de escorrentía son: As, Hg, Bo, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr y Zn, los que a su vez son altamente tóxicos. Igualmente puede haber presentes otros metales como el Fe y Mn, no tan tóxicos pero con efectos también indeseables.

Otros compuestos tóxicos

Compuestos plásticos, compuestos aromáticos derivados del benceno, herbicidas, cloruros, hidrocarburos (gasolinas y otros derivados del petróleo).

Eliminación de contaminantes mediante Sistemas de Drenajes Urbanos Sostenibles (SUDS)

En los países desarrollados, se han implementado las últimas décadas los denominados sistemas de drenaje urbanos sostenibles (SUDS), los cuales complementan y mejoran notablemente la calidad de las aguas residuales y pluviales. Una de las características más importantes de los SUDS, y su principal diferencia con los sistemas de drenaje urbano convencionales, es la capacidad que tienen para retener y/o eliminar contaminantes de las aguas de escorrentía urbana. Para que los sistemas sean realmente eficaces es recomendable que las técnicas trabajen en cadena (empezando por las no estructurales como la limpieza vial), y que a ser posible antes de la entrada a técnicas locales como áreas de biorretención, haya un pretratamiento. Lo que el drenaje urbano sostenible intenta evitar es la acumulación de contaminantes en la escorrentía para prevenir el denominado *first flush* (primer lavado). La eliminación de los contaminantes por las técnicas de drenaje sostenible resulta de una compleja combinación entre agentes biológicos, químicos y físicos. Los principales procesos de eliminación de contaminantes en aguas de escorrentía urbana mediante SUDS son:

Tabla 6: Principales procesos de eliminación de contaminantes en aguas de escorrentía urbana mediante SUDS

Procesos	Medidas relevantes y unidades
Sedimentación	Velocidad de sedimentación (m/s)
Adsorción	K_d (L/g); asociado a la fracción química
Degradación microbiana	Ratio de biodegradación (vida media en días)
Precipitación	Solubilidad (mg/L)
Filtración	Función de K_d (L/g) y precipitación (mg/L)
Volatilización	K_h (atm·m ³ /mol)
Fotólisis	Ratio de fotodegradación (vida media en días)
Retención vegetal	Bioacumulación (K_{ow} (ratio))

Fuente: elaboración propia

Procesos de eliminación de contaminantes

A continuación, se describen algunos de los mecanismos actuantes en la eliminación de los contaminantes que tienen lugar en los SDUS:

Adsorción

En este proceso, átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material. La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama *adsorbato* y el material en cuya superficie se acopla la sustancia se llama *adsorbente*.

El adsorbato es alguno de los contaminantes presentes en las aguas de escorrentía urbana. En este sentido, el adsorbente es, entre otros, la superficie de los sólidos en suspensión, los microorganismos presentes, la vegetación, un medio poroso por el que circula el agua, etc. Puede ser un proceso físico, químico o, como sucede generalmente, una combinación de ambos. Ejemplo de sistemas de drenaje urbano sostenible -en los que tiene lugar este proceso- son los pavimentos porosos y las cunetas verdes.

Sedimentación

Proceso por el cual el material sólido transportado por una corriente de agua se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial o dispositivo construido especialmente para tal fin. Los materiales sólidos en suspensión transportados en la escorrentía se sedimentan al disminuir la velocidad del agua cuando entra en los sistemas de drenaje sostenible. En los sistemas de drenaje convencionales existen altas velocidades de circulación del agua, por lo que los contaminantes en suspensión son arrastrados hasta los cauces o costas donde vierten. También puede ocurrir que las aguas de escorrentía urbanas sean dirigidas hacia una estación de tratamiento; en ese caso los sólidos arrastrados aumentan la carga a tratar, acrecentando los costes del proceso. La sedimentación es uno de los mecanismos de descontaminación fundamentales de los SDUS. Ya que una elevada fracción de los contaminantes se encuentran ligados a fracciones de sedimento, su eliminación repercute en una reducción importante de los contaminantes que lleva asociados. Ejemplos de técnicas donde se produce este proceso son las cunetas verdes y los depósitos de detención.

Filtración/Biofiltración

La filtración puede referirse tanto al proceso físico de tamizado de aguas pluviales al pasar a través de un medio poroso -como el pavimento permeable- o al proceso biológico o *biofiltración* del agua, al pasar por la vegetación.

El primer proceso atrapa directamente a las partículas contaminantes, aumentando las posibilidades de sedimentación mediante la reducción de la tasa de flujo. La eficacia de la filtración depende del tamaño de los poros del material seleccionado o sustrato. Cuanto menor sea el tamaño de los poros, mayor será el grado de retención de partículas, pero también mayor la probabilidad de obstrucción del medio. La eficiencia de la biofiltración dependerá de la densidad de la vegetación. La reducción de la velocidad del flujo se incrementa con el aumento en la densidad de la vegetación. Sin embargo, a velocidades de flujo superior a 2 m/s, el potencial de filtración disminuye sustancialmente. Estos procesos se dan, entre otras técnicas, en los pavimentos permeables y en las franjas de filtración.

Biodegradación

Los microorganismos tales como bacterias aeróbicas, anaeróbicas y hongos participan en muchos procesos de eliminación de contaminantes importantes, como son:

- La descomposición de materia orgánica.
- La nitrificación.

- La desnitrificación.
- La precipitación.
- La sustracción de metales.

La presencia de condiciones aeróbicas y anaeróbicas en los SDUS aumenta el potencial para el establecimiento de diversas clases de asociaciones microbianas. Esto incrementa la eficacia de la eliminación de los contaminantes. La degradación microbiana puede ser cuantificada mediante las tasas de biodegradación -expresada como vida media- o más general, se considera a través de señalar la presencia o ausencia de zonas aerobias y anaerobias en un SDUS. Uno de los sistemas de drenaje sostenible donde aparece este proceso es en los humedales artificiales.

Volatilización

Todos los sólidos y líquidos producen vapores a través de un proceso conocido como la volatilización. La cantidad de una sustancia que puede ser volatilizada depende de su presión de vapor (a presiones de vapor altas, mayor potencial para ser volatilizada). Esto también se ve influenciado por las condiciones locales de temperatura y viento. La volatilización tiende a ser un proceso más importante en la eliminación de sustancias orgánicas que de inorgánicas. La volatilidad de una sustancia puede ser estimada mediante el uso de la ley de Henry. Y para que se produzca se necesita de un contacto entre la partícula y aire. Por lo tanto, sólo se producirá en aquellos sistemas en los que la lámina de agua se mantenga en contacto con la atmósfera, tal que ocurre en humedales o en estanques superficiales.

Precipitación

La formación de precipitados insolubles seguido de su deposición es un importante mecanismo de remoción de contaminantes. Tanto directamente a través del proceso de precipitación en sí, como indirectamente a través de una previa adsorción de los componentes solubles y posterior deposición fuera ya de la columna de agua. La precipitación varía con factores tales como el pH, la dureza del agua y la presencia de iones de la competencia. En ocasiones da lugar a la formación de complejos orgánicos y quelatos con metales pesados. Este proceso se da, por ejemplo, en los depósitos de detención.

Fotólisis

La fotólisis implica una reacción química iniciada por la exposición de una sustancia a la luz y por lo tanto es un proceso más importante en la degradación de los contaminantes atmosféricos que los que se encuentran en el agua. Sin embargo, la fotólisis puede ser significativa en la eliminación de contaminantes localizados en las capas superficiales de una masa de agua, como ocurre en humedales y estanques.

Retención vegetal/Bioacumulación

La cantidad de una sustancia química que está potencialmente disponible para la interacción biológica es la fracción biodisponible. La *bioacumulación* es el proceso de incorporación

de la fracción biodisponible a los seres vivos. Las plantas son capaces de bioacumular una serie de compuestos tales como metales pesados y otros contaminantes, además de los nutrientes necesarios para su crecimiento, nitrógeno y fósforo que también son responsables de problemas de eutrofización. El tiempo de contacto entre la vegetación y el contaminante es un factor importante: a mayor tiempo de contacto, mayor cantidad de sustancias son bioacumuladas. Las raíces y los rizomas son las principales áreas de almacenamiento en plantas; y en menor cantidad, las hojas. Para que la captación de contaminantes ocurra, las plantas deben estar en crecimiento activo. La bioacumulación se produce en todas aquellas técnicas que implican una presencia de plantas, como las áreas de biorretención, las cunetas verdes o los humedales artificiales.

La presencia de estos procesos químico-físicos-biológicos dentro de los SUDS es lo que le confiere a estos sistemas una gran ventaja respecto a los de drenaje convencional. Ya que además del control de escorrentía permiten controlar y mejorar la calidad de las aguas de escorrentía urbana.

Tanques de tormenta

Los depósitos de retención son, sin duda, una de las medidas de control más utilizada en los DSU (medida estructural de control de vertidos). De cara a la reducción de los impactos en el medio receptor, un tanque de tormenta actúa fundamentalmente de dos modos: por una parte, evita la llegada masiva de agua a la planta depuradora en tiempos de tormenta, regulándola posteriormente, y evitando el vertido al medio por incapacidad de la misma. Por otra parte, el almacenamiento temporal de agua en el tanque puede propiciar la sedimentación, con la consiguiente eliminación de contaminantes que ello conlleva.



Figura 10. Tanque de tormenta en Burjassot, Valencia (*Fuente MMA 2002*).

La utilización de tanques de tormenta para el control y la reducción de los impactos sobre el medio de los vertidos de DSU busca alcanzar alguno de los siguientes objetivos, que recoge la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos (Stallard y col., 1998):

- a) El depósito no debe producir vertidos por encima de un determinado número al año.
- b) El volumen vertido anual no debe sobrepasar cierto valor.
- c) El volumen vertido en cada evento de precipitación no debe sobrepasar cierto valor.
- d) La masa de contaminación vertida al año por contaminantes debe quedar por debajo de cierto umbral.
- e) No debe sobrepasarse el número de incumplimientos fijados (normalmente por la ley) para estándares de calidad del medio receptor (aguas de baño, por ejemplo).

Es evidente que no se puede alcanzar el impacto nulo de las descargas de DSU. No se puede diseñar, con costes asumibles, la infraestructura capaz de no producir ningún tipo de vertido al año (Suárez López y Cagiao Villar, 2005). Es entonces cuando se plantea la pregunta ¿Qué volumen es el más adecuado para un tanque de tormenta? Como se expone a continuación, la respuesta es compleja, y como apuntan algunos autores (Guo, 1999), aunque los tanques de tormenta están aceptados como herramientas eficaces para el control de la contaminación producida por escorrentías urbanas, todavía no existe un consenso en la selección del volumen óptimo para dichas infraestructuras.

Dimensionamiento volumétrico de tanques de tormenta

Las características particulares de las DSU hacen que los métodos de dimensionamiento de estas estructuras, en cuanto a la determinación de su volumen, no estén en absoluto estandarizados. En efecto, existen una serie de aspectos únicos de las DSU que hacen el tratamiento del problema que nos ocupa un tanto particular (USEPA, 1993):

- a) Las características del medio suelen ser muy específicas. Aunque existan unas directrices generales para el diseño de redes de colectores, el hecho es que cada red es única y presenta sus propias singularidades, redundando esto en las posibilidades de establecer en la misma, depósitos de retención.
- b) El origen del problema es intermitente y con una gran variabilidad puesto que depende, por una parte de un proceso estadístico (la ocurrencia de los eventos de lluvia) y por otra de uno estocástico (la acumulación y lavado de contaminantes en la superficie de la cuenca y en la propia red).
- c) Las bases del diseño no están estandarizadas.
- d) No existen bases de datos consistentes para la validación de los resultados, sobre todo en lo que respecta a las cuestiones relativas a la contaminación.

Todo ello hace que a día de hoy se hayan desarrollado multitud de metodologías para la determinación del volumen adecuado de un depósito de retención para alcanzar el objetivo del control de la contaminación. A continuación, se desarrolla ampliamente el contenido de las metodologías que han resultado de la revisión de literatura, agregándolas en las cuatro tipologías siguientes:

a) Métodos probabilísticos cuyo punto de partida es la caracterización estadística de los parámetros fundamentales del proceso de precipitación. A partir de éstas, se obtienen distribuciones derivadas como volúmenes de escorrentía y masas de contaminante generados, vertidos y retenidos.

b) Métodos a partir de eventos tipo generados del análisis de las relaciones entre las variables implicadas (volúmenes, intensidades, duraciones) y su frecuencia de ocurrencia.

c) Simulación continua del proceso hidrológico e hidráulico con objeto de analizar con detalle el comportamiento de la solución planteada.

d) Métodos y normativas simplificados, generalmente derivados de alguno de los anteriores, que se convierten en “reglas prácticas” de fácil aplicación.

Ejemplo 1: caso del Arroyo del Gato

Lamentablemente, la información disponible acerca de estudios que evalúen la contaminación del Arroyo del Gato en relación directa con los fenómenos de escorrentía superficial, es escasa. Sin embargo, se puede inferir de manera indirecta que la situación es grave debido a que el sistema de desagües pluviales presenta, en la actualidad, graves deficiencias para conducir los excedentes superficiales generados, aún por tormentas de baja severidad. Este es un caso de estudio típico de la problemática de la inundación urbana, donde el crecimiento periférico de la ciudad no fue anticipado por una planificación adecuada de los desagües. En las zonas críticas, la frecuencia de las inundaciones es alta y con mayores tiempos de residencia debido a la insuficiencia del sistema para resolver las expansiones de áreas impermeabilizadas por la urbanización. El tratamiento de estos casos complejos requiere de un exhaustivo relevamiento de las componentes del sistema y de un diagnóstico basado en la simulación hidrodinámica de los escurrimientos. Las distintas alternativas dependen, en gran medida, de la efectividad de las obras para reducir, a niveles razonables, los niveles de inundación y el tiempo de residencia del agua. Es decir que de la eficacia de las obras depende la habitabilidad en las viviendas de las zonas críticas, el funcionamiento del transporte público, de los estacionamientos, el desplazamiento de ambulancias y de bomberos, el funcionamiento de desagües cloacales, etc. No obstante, aún con las obras implementadas, no pueden alcanzar el grado de protección al que podría llegarse si se aplicara un diseño de desagües en concordancia con la planificación urbana. Este sistema de evacuación junto con las redes de colectoras cloacales, son servicios que no pueden postergarse a la hora de decidir cómo desarrollar una urbanización.

Ejemplo 2: Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina (Gaspari y col., 2006)

Dada la falta de información para abordar la problemática de la cuenca del Arroyo del Gato, recurrimos a la metodología utilizada para la estimación de las escorrentías en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande. El estudio realizado por Gaspari y col. (2006) en el Arroyo Pillahuinco empleó la metodología del número de la curva (NC) desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) en Estados Unidos, en 1972. Dicho método es uno de los más empleados para transformar la precipitación total en precipitación efectiva. En relación a la estimación de la escorrentía a partir de la precipitación, se lleva a cabo la substracción de todas aquellas pérdidas que se deben a factores tales como la infiltración, la evapotranspiración, la intercepción y el almacenamiento superficial. Requiere de una buena caracterización del suelo, de la cubierta vegetal de los usos del suelo, y de los registros pluviográficos. A partir de la representación de la precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe) se obtiene una familia de curvas que son estandarizadas para definir un número adimensional de curvas NC, que varía de 1 a 100 según sea el grado de escurrimiento directo. El NC igual a 1 indica que toda la lluvia infiltra y un NC de 100 representa el escurrimiento total de la precipitación. Los números de curva se aplican para diferentes condiciones de humedad antecedente, siendo la condición II la que corresponde a humedad media del suelo. Si en el momento de producirse la precipitación el suelo se encuentra saturado de acuerdo con lluvias precedentes en el período de 5 días anteriores, se supone un aumento de la escorrentía (condición III); por el contrario, si el suelo está seco la infiltración será predominante (condición I). De esta manera se constituye una herramienta de gran valor para realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas, fundamentalmente cuando hay una deficiencia de registros extensos y confiables. Esta metodología requiere del conocimiento del tipo y uso de suelo de la cuenca en estudio

Debido a la escasa disponibilidad de registros de caudales líquidos con la suficiente extensión y densidad espacial en la cuenca, los autores debieron recurrir a su generación en base a relaciones lluvia/escorrentía, para obtener la información hidrológica básica. Para ello utilizaron un método de transformación de lluvia/escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. Luego, establecieron una clasificación de los complejos hidrológicos a los que asignó una capacidad de infiltración. Esta metodología permitió establecer las pérdidas iniciales y los coeficientes de escorrentía para cada una de las tormentas registradas, datos tomados de las fajas pluviográficas diarias del Servicio Meteorológico Nacional. Se analizaron tormentas de más de 13,5 mm en intervalos de 30 minutos. Los autores consideraron la condición II de humedad antecedente para la determinación de las pérdidas iniciales (I₀). La determinación del NC lo efectuaron mediante el uso de SIG, obteniéndose la cartografía de los complejos suelo/vegetación que representan diferentes situaciones frente a la infiltración. Estos complejos derivaron de la tabulación cruzada en formato digital espacial obtenida por el proce-

samiento de los mapas de suelos y geomorfología, generando los grupos hidrológicos (GH). La definición de los GH de suelos se basó en las clases texturales (USDA) y el diagrama triangular con las curvas de conductividad hidráulica a saturación (USDA). El mapa de vegetación y uso del suelo se construyó empleando imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM y posterior validación a campo en el que se identificaron cinco clases de cobertura, georreferenciadas y cartografiadas. Los GH se procesaron conjuntamente con el mapa de vegetación y uso actual del suelo, y se determinó el NC. A partir de la zonificación del NC se definieron los diferentes coeficientes de escorrentía para cada sitio, considerando 16 tormentas representativas. La escorrentía directa se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

donde: Q = escorrentía directa (mm), P = lluvia total acumulada (mm), S = 254 (100/NC - 1) (mm).

Los autores estimaron la precipitación efectiva (Pe) mediante la sustracción de las pérdidas iniciales (I_o) a la precipitación (P). El I_o estuvo representado por 0,2 S y el coeficiente de escorrentía (CE) se calculó a partir del cociente entre Pe y P. Finalmente realizaron una regresión múltiple analizando el coeficiente de escorrentía en función de la precipitación y el NC.

En la caracterización de la cuenca los autores identificaron los 6 tipos de cobertura vegetal mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7: Cobertura vegetal y uso del suelo, superficie ocupada y NC.

Tipo de cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie ocupada (ha)	Ocupación en la cuenca (%)	NC
Pastizal serrano	15262.5	13.95	61
Agricultura extra serrana	20827.8	19.03	75
Agricultura	18605.9	17.00	78
Agrícola-ganadera en derrame	53299.5	48.70	81
Urbanización	1249.8	1.14	98
Lagunas	190.9	0,17	100

Fuente: Gaspari y col., 2007

Los tipos de suelo identificados variaron entre franco limosos de buena permeabilidad hasta suelos con alto contenido de arcilla, lo que se traduce en una alta impermeabilidad de los últimos. Los grupos hidrológicos obtenidos revelaron que la cuenca se corresponde con el grupo hidrológico B. Los valores de NC variaron entre 61 y 98 observándose que la precipitación efectiva (Pe) fue menor en las partes altas de la cuenca, y los valores mayores de Pe se concentraron en las partes bajas de la cuenca, especialmente por la escasa permeabilidad de los suelos que ahí se presentan y sus características de la cobertura. Las intensidades de las tormentas analizadas variaron entre 5,7 a 23,5 mm/ 30 min. La máxima intensidad fue tomada como punto de partida para realizar el análisis del geo-dinamismo torrencial en la cuenca estudiada.

Las pérdidas por infiltración estimadas pueden observarse en la Tabla 8, donde queda claro que las mayores pérdidas se relacionan con los NC más bajos. Como ejemplo extremo, en la ciudad (NC 98) se observa que se minimiza la infiltración generando el caudal máximo de escorrentía. A partir de cada zona de NC se estima Q y CE.

Tabla 8: Pérdidas iniciales por infiltración para cada NC considerado.

NC	Io (mm)
61	32.48
75	16.93
78	14.33
81	11.92
98	1.04

Fuente: Gaspari y col., 2007

El análisis de regresión múltiple entre NC, P y CE mostró diferencias estadísticamente significativas entre las variables. En la Figura 11, el gráfico ilustra la relación hallada por los autores entre CE, NC y P de un evento determinado, donde se ve claramente que la escorrentía aumenta tanto con la precipitación (P) como con el número de curva (NC).

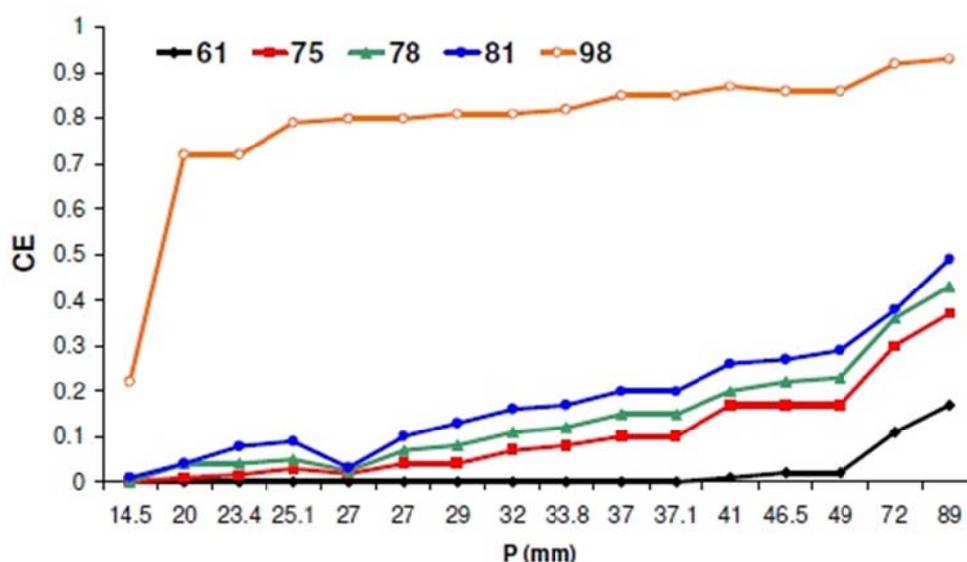


Figura 11. Relación entre CE, NC y P para un evento determinado (*Fuente Gaspari y col., 2007*).

Por otro lado, el estudio determinó que la infiltración y la disponibilidad de agua en el suelo estuvieron asociadas a situaciones particulares y cobertura del mismo.

De ésta manera, los mapas fito-litológicos obtenidos mediante la intersección de mapas de cubiertas vegetales y mapas de grupos hidrológicos de suelos según USDA, sumado a los números de curva correspondientes para cada una de las clases establecidas, facilitó el cálculo de las escorrentías directas o precipitaciones netas en la cuenca, para las precipitaciones seleccionadas de los años objeto de estudio. Esto les permitió realizar el estudio hidrológico de la cuenca en forma sencilla y precisa. Esta referencia ratificaría la utilidad del método del NC co-

mo metodología práctica para abordar estudios de mayor complejidad que permitan el ordenamiento de la cuenca. El procesamiento de imágenes con uso del Sistema de Información Geográfico (SIG) permitió determinar valores de NC de forma eficiente y a costos relativamente bajos. La obtención del mapa de zonificación del número de curva generaría la caracterización hidrológica y ambiental de la cuenca, conformando la interpretación de fenómenos y su distribución espacial. A su vez, el ordenamiento sustentable de la cuenca permitiría rápidamente actualizar sus valores según los cambios de usos de suelos que se produzcan en procura de ese objetivo.

Conclusiones

El análisis realizado, nos ha revelado lo grave del impacto de la contaminación de las escorrentías urbanas en las cuencas hídricas. Asimismo, nos ha permitido comprender la evolución del problema a lo largo del tiempo, las características que identifican a la escorrentía respecto de otras fuentes de contaminación, cómo se modeliza matemáticamente el evento y en qué condiciones es más nocivo. Por otro lado, expusimos las causas de la contaminación, así como los contaminantes más habituales en las escorrentías urbanas. Llevamos a cabo descripciones metodológicas para su tratamiento, que van desde su prevención, pasando por métodos para tratamientos de los contaminantes en búsqueda de un desarrollo urbano sostenible, hasta el de desarrollo de tanques de tormenta. Finalmente, este trabajo pone en evidencia la escasa información, vinculada a esta problemática, que circula sobre la cuenca del Arroyo el Gato. En este sentido, contrastamos nuestro estado de cosas con otros países del mundo como Estados Unidos o España.

En consecuencia, si bien observamos que los esfuerzos se han centrado en contener las inundaciones, ello no basta porque una urbanización *sin control*, que obvia políticas de planificación sostenibles, no sólo afecta la red de drenajes urbanos y sus respectivos tratamientos. También agrava el fenómeno de escorrentías porque el crecimiento urbanístico desencadena un proceso de impermeabilización de los suelos que crece de manera exponencial, en proporción directa con el crecimiento urbanístico.

Referencias

Barro, J.R. y Suárez, J. (2004). "Problemática y técnicas de gestión de la contaminación de la escorrentía urbana en sistemas de saneamiento separativos y unitarios", *XXII Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Tomo II, CEDEX*, Madrid: Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente.

- Beneyto González-Baylín, C. (2004). *Evaluación de los rendimientos de depósitos de detención-aliviadero en redes de saneamiento unitarias en cuencas de la España húmeda*. Tesis Doctoral. La coruña: Universidade da Coruña.
- Bertrand-Krajewski, J.L., Chebbo, G., Saget, A. (1998). "Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon". En *Water Research*, 32 (8).
- Field, R. y Lager J. A. (1975). "Urban runoff pollution control. State of the art" En *Journal of the Environmental Engineering*, ASCE, 101 (NEE1).
- Gaspari F., Senisterra G., Marlats R. (2007). Rainfall - runoff and curve number relationship under different conditions of soils. Ventania system modal basin. En *Revista FCA UNCuyo*. Tomo XXXIX. N° 1. Mendoza: Universad Nacional de Cuyo.
- Griffin Jr. D. M., Randall C. W., Grizzard, T. J. (1980). "Efficient design of stormwater holding basin used for water quality protection" En *Water Research*, 14 (10).
- Guo J.C.Y. (1999). "Detention storage volume for small urban catchments" En *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125 (6).
- Gupta K., Saul A.J. (1996). "Specific relationships for the first flush load in combined sewer overflows" En *Water Research* 30 (5).
- Malgrat, P. (1995). "Control de la contaminación producida en tiempo de lluvia por las descargas de sistemas unitarios de alcantarillado" En *Revista OP*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos.
- MMA (2002). *Experiencia piloto de medición y estudio de las descargas de sistemas unitarios (DSU) del alcantarillado a los medios receptores en tiempo de tormenta, en varias ciudades españolas (PROMEDSU)*. Secretaría de Estado de Agua y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente de España.
- Saget, A., Chebbo, G., Desbordes, M. (1995). "Urban discharges during wet weather: what volumes have to be treated?" En *Water Science Technology*, IAWQ 32 (1).
- Sartor, J.D., Boyd, G.B., Agardy, F.J. (1974). "Water pollution aspects of street surface contaminants". En *Journal of Water Pollution Control Federation* 46 (3).
- Stallard, W.M., Smith, W.G., Crites R.W., Lager, J.A. (1998). "Storage/sedimentation facilities for control of storm and combined sewer overflows. EPA 600/R-98-006" En *US Environmental Protection Agency*, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio.
- Suárez López, J., Cagiao Villar, J. (2005). "Vertidos de sistemas de saneamiento unitario en tiempo de lluvia: control de impactos en ríos" En *Ingeniería y Territorio*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, (71).
- USEPA (1993). "Combined Sewer Overflow Control. EPA 625/R-93-007" En *US Environmental Protection Agency*, Office of Research and Development, Center of Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.

CAPITULO 6

Descargas cloacales y contaminantes emergentes

Macarena Gisele Rojo y Pedro Carriquiriborde

Como se ha mencionado en los capítulos previos, los procesos de urbanización imponen una fuerte presión sobre las cuencas hídricas y el recurso agua de una región. Estas actividades afectan en forma directa al ciclo hidrológico dado que los cambios en las redes de drenaje (canalizaciones, entubamientos, etc.), la impermeabilización de la superficie del terreno, las construcciones, la intensa explotación de las aguas subterráneas y vertidos hacia el agua superficial alteran los procesos de infiltración, escurrimiento, las condiciones del flujo y los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea y superficial.

Aunque en las urbes el uso residencial suele ser el que presenta mayor extensión territorial, éstas aglutinan diversos usos del suelo, tales como comercial, industrial, administrativo, (incluyendo escuelas, hospitales, etc.), siendo por lo tanto la composición de los efluentes domiciliarios muy variable. Es importante destacar que, en las ciudades, entre el 85 al 90% del agua provista para consumo llega finalmente a las redes de desagües cloacales. El volumen generado de éstos efluentes suele depender de las características de la región, hábitos y costumbres de la población, cultura, industrialización, clima y características de la urbanización en cuanto al porcentaje de población servida entre otros. Los constituyentes de los efluentes cloacales pueden ser sólidos, líquidos y gases, aunque por lo general los efluentes domiciliarios, tienen aproximadamente el 99,9% de agua y el 0,1% de sólidos totales, correspondientes a las sales originalmente presentes en el agua más las sustancias orgánicas e inorgánicas desechadas en éstos (Orellana, 2005).

En los efluentes cloacales pueden encontrarse una gran cantidad de sustancias, muchas de ellas consideradas contaminantes para el medio ambiente. Estos pueden ser de naturaleza física (ej. temperatura), química (metales, hidrocarburos) o biológica (ej. bacterias coliformes). Los contaminantes químicos que tradicionalmente han sido considerados son los metales pesados, los hidrocarburos, detergentes, etc., cuyas concentraciones máximas en el vertido suelen encontrarse reguladas por las autoridades de aplicación. Sin embargo, en las últimas décadas, se ha comenzado a prestar atención a otras sustancias potencialmente perjudiciales para el ambiente y que aún no se hallan regulados, denominados contaminantes emergentes (Geissen y col., 2015; Dulio y col. 2018). Este grupo de contaminantes incluye sustancias de uso industrial, productos para el cuidado personal, biocidas y productos fitosanitarios, entre otros.

En particular un grupo importante de contaminantes emergentes son los productos farmacéuticos de uso humano o veterinario. En particular, los vertidos cloacales constituyen la principal vía de ingreso los mismos en el ambiente.

Como se ha mencionado en las secciones previas, la cuenca del Arroyo del Gato es la más importante del Partido de La Plata, y en ella existen áreas intensamente pobladas, donde residen más de 380 mil personas. Desde su nacimiento, el Arroyo atraviesa las localidades de Lisandro Olmos, Melchor Romero, San Carlos, Ringuet y Tolosa en el partido de La Plata, para finalmente desembocar en el río Santiago a través del arroyo Zanjón (partido de Ensenada). Debido a la alta urbanización que se ha desarrollado principalmente en su sector medio, la misma recibe un gran número de vertidos cloacales habilitados y clandestinos, con diferente grado de tratamiento que contribuye al deterioro de la calidad del agua superficial y que resultan una fuente de contaminantes emergentes.

Objetivos del capítulo

- Evaluar el impacto del crecimiento urbano en la disminución de la calidad de agua por efluentes cloacales en el Arroyo del Gato.
- Describir la relación entre efluentes cloacales y los niveles de fármacos encontrados en el sitio de estudio.
- Dar a conocer estrategias de mitigación empleadas en otros países.

Descripción del sitio de estudio y la problemática

El Arroyo Del Gato forma parte de la cuenca del Río Santiago (tributario del Río de La Plata), siendo su principal afluente por extensión y caudal. Atraviesa los Partidos de La Plata y Ensenada y está sujeto a diversos usos: receptor de vuelcos residuales (cloacales, industriales y lixiviados), actividades recreativas con o sin contacto directo (clubes náuticos, pesca recreativa) y fuente de agua para consumo humano (Escuela Militar en Río Santiago). (SPA, 2009)

La cuenca superior del Arroyo Del Gato se desarrolla en un área suburbana con baja densidad poblacional, donde prevalecen actividades primarias (horticultura y floricultura) y pocas industrias. En la cuenca media, hay un incremento significativo de la urbanización y de la densidad de población, además de un mayor número de industrias, actividades de servicios y barrios de viviendas precarias instalados próximos al cauce del arroyo. La cuenca inferior corresponde al tramo canalizado y con escasa población. (Bazán y col. 2011).

La ocupación de su planicie de inundación por asentamientos informales, que en algunos sectores llega hasta sus márgenes, contribuye de manera significativa a los vuelcos de desagües cloacales directamente al curso de agua (PNUD-SAyDS, 2012).

Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes comprenden una amplia gama de compuestos químicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes y aditivos industriales, que no están incluidos en el monitoreo actual de programas de tratamiento de aguas; también incluyen la síntesis de nuevos compuestos químicos o cambios en el uso y disposición de los productos químicos ya existentes. (Gil et al. 2012)

Más de 4000 productos farmacéuticos se encuentran actualmente en uso dentro de los productos de cuidado personal (Boxall y col., 2012). Las vías principales de ingreso a las aguas superficiales son: a través de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarios y hospitalarios, de las instalaciones de acuicultura y de la escorrentía de los campos donde se utiliza el estiércol. Existen otras vías de exposición que incluyen las descargas directas de los sitios de fabricación de estos compuestos, la eliminación de los medicamentos no utilizados a los vertederos, la escorrentía de los medicamentos veterinarios en corrales, el riego con aguas residuales y eliminación de cadáveres animales tratados.

Las prácticas de manejo y uso de estos compuestos en las diferentes regiones del mundo también pueden variar, por lo que una vía de exposición importante en un área geográfica puede ser una vía menos importante en otra región. En nuestro país se han detectado compuestos farmacéuticos tanto en efluentes cloacales como en aguas superficiales. Entre ellos se destacan, los antiinflamatorios, antihipertensivos, anticonvulsivos y estimulantes, siendo entre ellos representativos el ibuprofeno, diclofenac, atenolol, carbamazepina y cafeína (Elorriaga et al. 2013).

Calidad de agua en el Arroyo del Gato

Parámetros de calidad tradicionales

En cuanto a la calidad del agua superficial del Arroyo del Gato, se cuenta con información provista por el relevamiento del Arroyo del Gato realizado por la Secretaria de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires en el año 2007 (SPA,2009) y el informe elaborado por el Proyecto FREPLATA II (PNUD-SAyDS, 2012). Además, información no publicada provista por la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA), permitió localizar los puntos donde se producen descargas cloacales (habilitadas) y los emplazamientos de tres plantas de tratamiento de aguas servidas (Ringuelet, La Cumbre y Olmos), además de la localización de los

hospitales que vierten sus efluentes al arroyo (hospitales Melchor Romero y José Ingenieros). Toda ésta información ha sido resumida en la Figura 1.

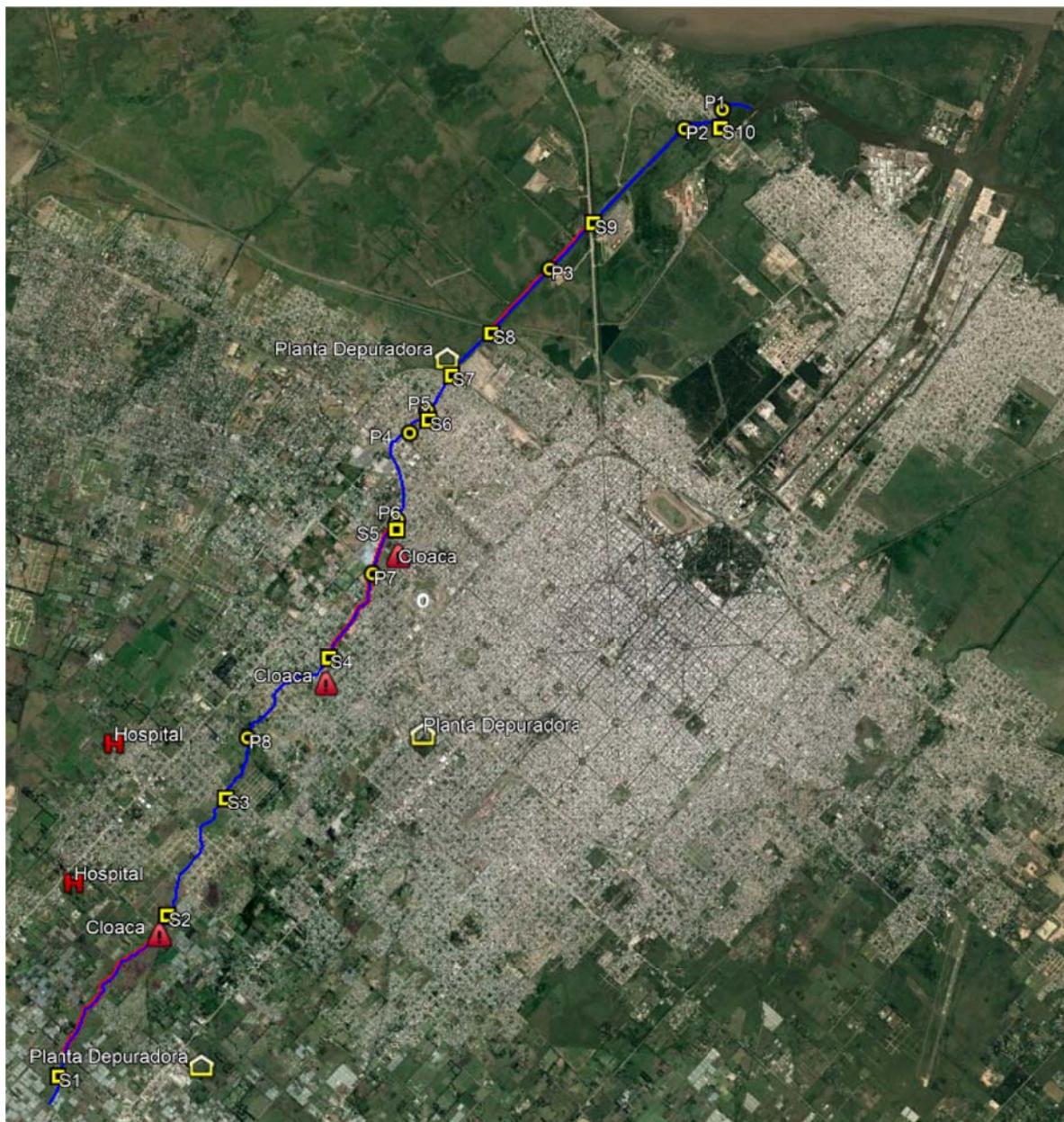


Figura 1. Imagen satelital mostrando el curso principal del Arroyo del Gato (azul) y los tramos donde la SPA, 2009 ha determinado que la calidad del agua es crítica (rojo). Se muestran los puntos de muestreo realizados sobre el curso en el marco de los estudios realizados por la SPA (cuadrados) y por el Proyecto Freplata (círculos). Además, se muestran los hospitales, las plantas de tratamiento y los vuelcos de líquidos cloacales al arroyo. (Fuente: elaboración propia sobre imagen tomada de Google Earth y datos de la SPA (2009), PNUD-SAYDS (2012) e información no publicada provista por la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA))

Los resultados obtenidos en los relevamientos de la SPA, han permitido identificar a lo largo del curso principal del arroyo tres sectores en los cuales la calidad del agua se consideró crítica y estuvo en cierto modo caracterizado por una elevación abrupta de los niveles de bacterias coliformes totales y fecales que, claramente, indicarían aportes de vuelcos cloacales. Los tres tramos identificados se ubicaron: 1) de Ruta 36 a calle 173 y 32, 2) de calle 137 a calle 19 y 3)

de la Autopista a la Diagonal. A la altura de la descarga de la planta de tratamiento de Ringuelet, los valores de coliformes fecales oscilaron entre 10^3 y 10^5 NPM/100 ml, excediendo ampliamente el límite establecido, por ejemplo, por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos que es de 200 NPM/100. De todos modos, éste parámetro como los demás analizados, generalmente exceden los límites de calidad de aguas superficiales en casi todo el curso, salvo por lo general en su desembocadura en el Río Santiago donde el efecto de las mareas del Río de la Plata pareciera tener un efecto de dilución que mejora la calidad del agua que allí llega.

En cuanto a la demanda biológica de oxígeno (DBO) los valores estuvieron por encima de los 10 mg/L, llegando a superar los 50 mg/L frente a la descarga de Ringuelet, valores que exceden el límite establecido para la protección de la vida acuática (3 mg/L) en la Resolución 042/06. Lo propio ocurre con la demanda química de oxígeno (DQO) que llegó a superar los 100 mg/L y excedió los límites recomendados en casi todos los sitios. Otros parámetros evaluados como el oxígeno disuelto (OD), nitratos y amonio, mostraron la misma tendencia, superando la mayoría de las veces los límites recomendados para la protección de la vida acuática (SPA, 2009).

Los resultados obtenidos en el estudio realizado en el marco del Proyecto Freplata II, no hace más que ratificar los datos del informe anterior. Los valores de coliformes totales y fecales (Figura 2) oscilaron entre 10^3 y 10^6 NMP/100 ml a lo largo de todo el curso, con los máximos valores de coliformes fecales aguas debajo de la descarga de la planta de Ringuelet (P3: $1,6 \times 10^6$ NMP/100 ml). Los valores de DBO, en el curso principal, oscilaron entre 7 y 18 mg/L, los de DQO entre 10 y 83 mg/L, los tenores de oxígeno entre 0 y 4,59 mg/L y los niveles de amonio siempre superaron los 10 mg/L con valores máximos arriba de 25 mg/L, todos valores que escapan de los niveles guía de calidad para aguas superficiales (PNUD-SAyDS, 2012).

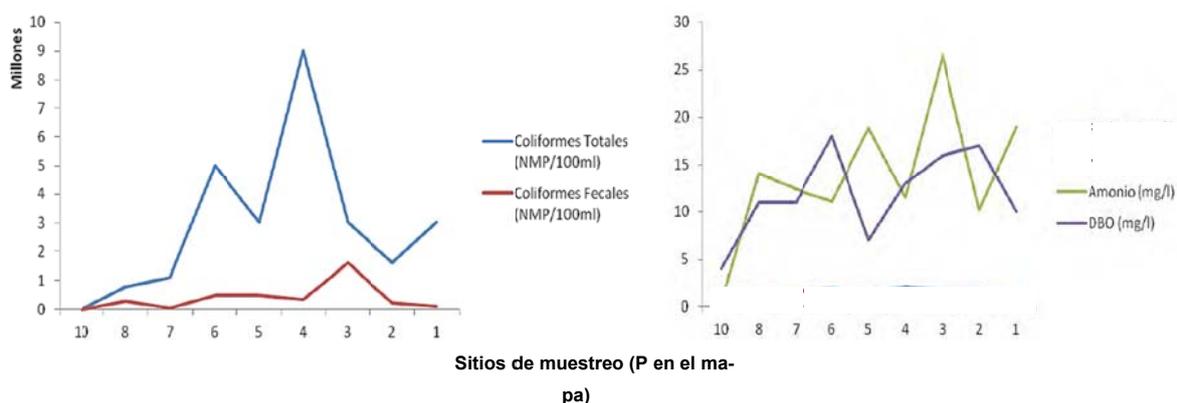


Figura 2. Concentración de coliformes totales y fecales (izquierda), DBO y amonio (derecha) en el Arroyo del Gato (Fuente: PNUD-SAyDS, 2012)

Contaminantes emergentes: fármacos de uso humano

Como se explicó anteriormente los fármacos, luego de ser consumidos, son eliminados con las excretas y éstas al ambiente a través de las descargas cloacales. Los resultados mostrados en la sección previa muestran con claridad que el Arroyo del Gato es receptor de tales efluentes y por tanto es de esperar que en sus aguas se detecten contaminantes emergentes y entre ellos particularmente compuestos farmacéuticos. Existen muy pocos estudios en nuestro país donde se ha evaluado la concentración de éstas sustancias en efluentes o aguas superficiales (Elorriaga et al., 2013a; Elorriaga et al., 2013b; Valdés et al., 2014; Valdés et al., 2016; Pérez et al., 2018). Pese a ello, uno de los estudios ha sido realizado justamente en el Arroyo del Gato (Elorriaga y col., 2013c).

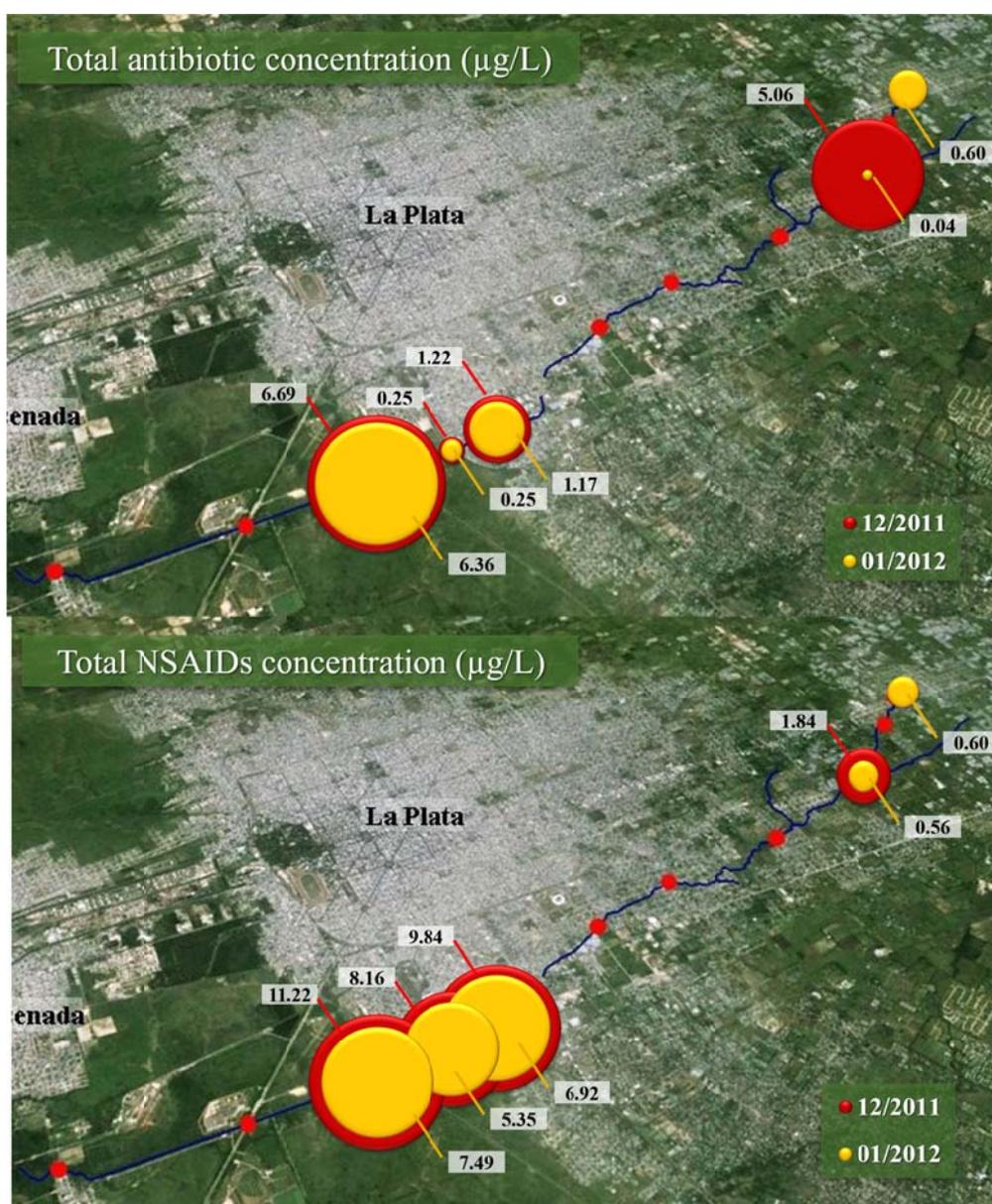


Figura 3. Concentraciones de fármacos de uso humano en el Arroyo del Gato (Elorriaga et al 2013c).

En tal estudio (Figura 3), se ha evidenciado la presencia tanto de antibióticos como de analgésicos y anti-inflamatorios no esteroideos (NSAID, de su sigla en inglés) en las aguas del arroyo, en concentraciones detectables que van desde 0,04 a 6,69 y 0,56 – 11,22 µg/l respectivamente. En particular, es de destacar que las mayores concentraciones, coinciden con los tramos del arroyo en las cuales la calidad de las aguas ha sido considerada crítica por la SPA y que coincide con las descargas de líquidos cloacales.

Comparación con las concentraciones observadas en otros países

A diferencia de lo que ocurre en Argentina y otros países de Latinoamérica, a nivel internacional, ya desde la década de los '80 existen una gran cantidad de estudios sobre las concentraciones ambientales de compuestos de uso farmacéutico. Ello ha llevado a la publicación de varias revisiones sobre el tema. No es la intención de éste capítulo realizar una revisión exhaustiva del tema por lo que se tomarán las revisiones internacionalmente más reconocidas para contrastar los niveles de fármacos hallados en el Arroyo del Gato.

Una de las primeras revisiones, ha sido realizada por Halling-Sørensen y col. (1998), según estos autores, las concentraciones máximas de los NSAIDs en aguas superficiales están en 0,49 y 0,14 µg/l para diclofenac e ibuprofenos, respectivamente. Para los antibióticos las concentraciones máximas comunicadas por dichos autores fueron de aproximadamente 1 µg/l para la eritromicina y las penicilinas entre otros. Otra revisión de la época, reporta valores máximos similares para NSAIDs y antibióticos con valores de 0,53 y 1,7 µg/l para el ibuprofeno y eritromicina (Jones y col., 2001). En un estudio más reciente donde se recopilan concentraciones en aguas superficiales de casi 30 fármacos (Fent y col. 2006). Los valores intervalos reportados por estos autores para NSAIDs fueron de entre 0,01 y casi 10 µg/l para ibuprofeno y entre 0,01 y un poco más de 1 µg/l para diclofenac. Uno de las revisiones más recientes y completas sobre concentraciones de fármacos en ríos es la de Hughes y col. (2013). En la misma se listan más de 60 fármacos frecuentemente estudiados en todo el mundo. Las concentraciones medias y máximas reportadas para los más relevantes en la comparación con el Arroyo del Gato fueron: ibuprofeno 0,50 y 31,32 µg/l, diclofenac 0,136 y 18,74 µg/l, dentro de los NSAIDs, eritromicina 0,05 y 90,00 µg/l, claritromicina 0,016 y 0,26 µg/l y ciprofloxacina 163,67 y 6500,00 µg/l, considerando los antibióticos.

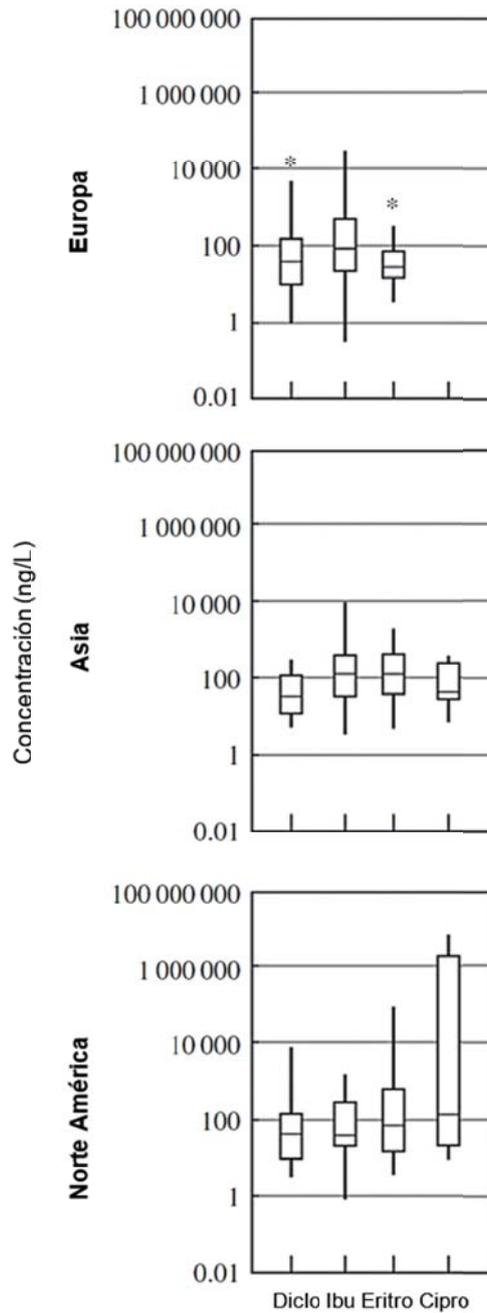


Figura 4. Concentraciones reportadas en aguas superficiales de Europa, Asia y Norteamérica para los principales fármacos hallados en el Arroyo del Gato. Los asteriscos son datos extremos, Diclo: diclofenac, Ibu: ibuprofeno, Eritro: eritromicina, Cipro: ciprofloxacina (Fuente: *Elaboración propia a partir de datos de Kookana y col. (2014)*)

En la Figura 4 se muestran los gráficos de cajas con los intervalos de concentraciones para los principales fármacos de uso humano publicados por Kookana y col. (2014) para Europa, Asia y Norteamérica, adaptado del trabajo de Hughes y col. (2013). De acuerdo a los datos recabados para otras partes del mundo, los valores reportados para el Arroyo del Gato se encuentran comprendidos entre los valores relevados en otras regiones del mundo en aguas superficiales receptoras de efluentes cloacales.

Medidas de mitigación llevadas a cabo en otros países

Sistema híbrido de humedales para el tratamiento y reutilización de aguas residuales (Ávila y col., 2015)

Un sistema de humedales híbrido a gran escala basado en tres etapas de distinta configuración demostró ser una solución eco tecnológica muy robusta para el tratamiento de aguas residuales domésticas y su reutilización en pequeñas comunidades de Sevilla, España. El diseño (Figura 5) consistió en la combinación de un humedal de flujo sub-superficial vertical (VF) de 317 m², uno de flujo horizontal sub-superficial de 229 m² (HF) y uno de flujo de agua libre de 240 m² (FWS), todos posicionados en serie. El lecho vertical se constituyó con una profundidad de 0.005m de arena (1-2mm espesor) seguido de 0.6m de grava (4-12mm) y 0.15m de grava de mayor espesor (25-40mm); el lecho horizontal en cambio se construyó con 0.4m de grava (4-12mm) y con piedras de 10-80mm colocadas en la entrada y salida del lecho, para facilitar el flujo. Se utilizaron plantas de *Phragmites australis* para el caso de los humedales con flujo horizontal y vertical. En cambio para el caso del humedal con flujo libre se utilizó una combinación de especies de plantas.

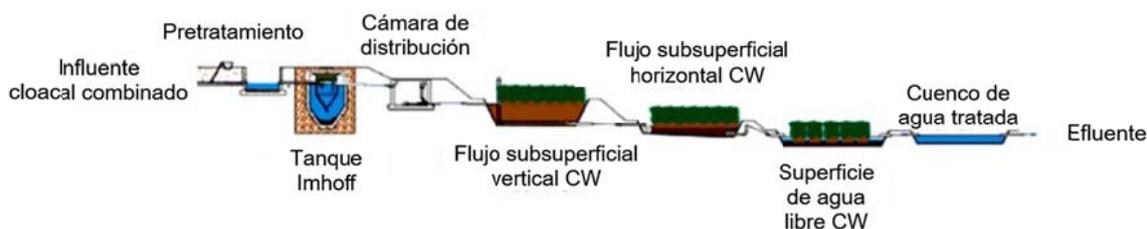


Figura 5. Sistema híbrido de humedales (Fuente: Ávila y col., 2015)

La eliminación de contaminantes emergentes (Tabla 1), entre los que se encuentran diversos productos farmacéuticos, productos de cuidado personal y disruptores endocrinos, fue muy alta (por encima del 80% para todos los compuestos). Los altos porcentajes se lograron debido a las altas temperaturas y a las diferentes condiciones físico-químicas existentes que se producen en las diversas configuraciones del sistema, que permitieron la combinación y la sinergia de diversos mecanismos de eliminación, como: biodegradación, adsorción, volatilización, hidrólisis y fotodegradación.

Las vías metabólicas aeróbicas y la retención de sólidos se incrementaron en el lecho vertical, otros mecanismos de eliminación tales como la biodegradación anaeróbica y la adsorción predominaron en el lecho horizontal. Para el caso del lecho de flujo libre, la fotodegradación a través de la exposición directa al sol y la sorción en materia orgánica, parecen tener una participación activa en la eliminación de contaminantes orgánicos.

Tabla 1. Concentraciones promedio de los compuestos estudiados a lo largo del sistema (Fuente: Ávila y col., 2015)

	Influyente (µg/L)	Tanque Imhoff (µg/L)	Flujo vertical (µg/L)	Flujo horizontal (µg/L)	Agua libre superficial (µg/L)	Tanque de agua (µg/L)	Eficiencia de remoción global (%)
Analgésicos-antiinflamatorios							
Ibuprofeno	18.66	14.78	4.01	0.52	0.03	0.03	99
Diclofenac	0.77	0.74	0.5	0.28	0.1	0.1	89
Acetaminofen	3.5	3.32	<LD	<LD	<LD	<LD	>99
Productos de cuidado personal							
Tonalide	0.54	0.33	0.24	0.11	0.05	0.02	90
Oxibenzona	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	—
Triclosan	0.15	0.13	0.05	0.05	0.04	0.03	79
Disruptores endocrinos							
Bisfenol A	4.06	3.9	2.12	1.35	<LD	<LD	>99
Etinilestradiol	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	—

Utilización de aguas residuales en el Cercano Oriente: el ejemplo de Kuwait

Durante muchos años se utilizaron en Kuwait aguas residuales no depuradas para regar las plantaciones forestales. El contenido de los tanques sépticos se transportaba con cisternas y se utilizaba para las plantaciones forestales, controladas por el gobierno. Por ejemplo, se crearon con éxito dos cortinas cortavientos de *Tamarix aphylla*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Acacia salicina*, para la protección ambiental del municipio. En los años sesenta el gobierno emprendió un programa de tratamiento y utilización de las aguas residuales para el riego en la agricultura. Posteriormente, se construyeron plantas para el tratamiento primario y secundario de las aguas de alcantarillado y se realizaron investigaciones sobre su utilización en la producción agrícola. En 1977 el Ministerio de Obras Públicas comenzó a preparar un Plan Básico para la utilización eficaz de todos los efluentes depurados en el país hasta el año 2010. La ejecución del plan comenzó en 1985. La primera prioridad fue la producción de forrajes y hortalizas y la segunda el fomento de la silvicultura para la protección ambiental. El plan proveyó de 125 millones de m³ de aguas residuales para el riego a 2700 ha de agricultura intensiva, 9000 ha de silvicultura ambiental (por ejemplo, cortinas cortavientos, estabilización de dunas de arena) y 213 ha de silvicultura comercial (Arumugam Kandiah y Susan Braatz, 2009).

Normas de calidad ambiental para aguas superficiales- Directiva 2013/39/UE

La Directiva 2013/39/UE, establece normas de calidad ambiental (NCA) para limitar las concentraciones de determinadas sustancias químicas o grupos de sustancias identificadas como contaminantes prioritarios que presentan un riesgo significativo para el ambiente acuático o para la salud humana de la Unión Europea (UE). Las normas se complementan con el requisito de establecer inventarios de vertidos, emisiones y pérdidas de dichas sustancias para controlar

si se cumplen o no los objetivos de reducción o interrupción. Las normas de calidad propuestas difieren según se trate de aguas superficiales continentales (los ríos y lagos) y de otras aguas superficiales (de transición, costeras y aguas territoriales).

Las sustancias prioritarias están definidas por la Directiva 2000/60/CE (o Directiva marco de aguas). La Decisión 2455/2001/CE establece la primera lista de treinta y tres sustancias y la Directiva modificativa 2013/39/UE, incluye otras doce más.

La misma actualiza las NCA de siete de las treinta y tres sustancias prioritarias originales según los últimos conocimientos técnicos y científicos en lo que respecta a las propiedades de las sustancias. Además introduce una estipulación según la cual la Comisión establecerá una lista de observación de sustancias sobre las que deben recabarse datos de seguimiento a nivel de la Unión para que sirvan de base a futuros ejercicios de asignación de prioridad de conformidad. La primera lista de observación se estableció en el 2014 y puede contener hasta diez sustancias, tres de las cuales serán compuestos farmacéuticos (diclofenac, 17-beta-estradiol (E2) y 17-alfa-etinilestradiol (EE2)).

La lista de observación se actualiza cada dos años y el período de seguimiento no superará los cuatro años. Para cada distrito de cuenca fluvial, los Estados miembros deben establecer un inventario de emisiones, vertidos y pérdidas de todas las sustancias identificadas en la Directiva. Sobre la base de este inventario, la Comisión debe verificar en 2018 si se están logrando progresos hacia los objetivos de reducir gradualmente la contaminación por sustancias prioritarias y de suspender o eliminar progresivamente las emisiones, vertidos y pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.

Pese a su inclusión en la lista de observación, aún no existen para los fármacos (ni si quiera los que se ha mencionado han sido incluidos en la lista de observación) concentraciones máximas admisibles (CMA) o medias anuales (MA) en las normas de calidad ambiental de la EU, cómo lo hay para otras 45 sustancias prioritarias.

De un modo semejante, aunque la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) ha llevado a cabo numerosos proyectos de investigación relacionados con la medición, ocurrencia y tratamiento de productos farmacéuticos en el agua, hasta la fecha, no se han establecido aún regulaciones federales (ni en como parte del “Clean Water Act” o del “Safe Drinking Water Act”) que establezcan límites para los productos farmacéuticos.

Conclusión

La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales actuales no son capaces de eliminar eficazmente los micro-contaminantes, como los productos farmacéuticos. Este tipo específico de contaminantes, que en la actualidad no está regulado en la legislación, llegará por tanto, en mayor o menor medida a los cursos de agua superficiales pudiendo afectar la calidad del agua para el consumo de la población o para la protección de la vida acuática.

Los estudios realizados en la cuenca del Arroyo del Gato muestran que, al igual que lo que ocurre en otros sitios del mundo, los efluentes cloacales generados por grandes conglomerados urbanos y que luego son volcados con mayor o menor grado de tratamiento a los cursos de agua, impactan sobre la calidad del agua de los mismos. En el caso del Arroyo del Gato, no sólo se han hallado contaminantes emergentes como los fármacos de uso humano, sino que, debido al deficiente o nulo funcionamiento de las plantas de tratamiento y los vuelcos clandestinos o provenientes de asentamientos informales, causan que los parámetros de calidad más groseros como el OD, DBO, DQO o amonio se encuentran totalmente alterados.

Ante tal escenario, resulta de vital importancia plantear la implementación de tecnologías adecuadas para la remoción de estos contaminantes antes que lleguen al ambiente. Tomando como ejemplo las acciones realizadas en otros países del mundo, debieran realizarse obras de saneamiento del Arroyo del Gato para revertir el impacto, evaluando el desempeño del mismo mediante planes de monitoreo.

Bibliografía

- Ávila, C., Bayona, J.M., Martín, I. Salas, J.J., García, J. (2015). "Emerging organic contaminant removal in a full-scale hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and re-use". En *Ecological Engineering*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.056>.
- Bazán, J.M., Alberino, J.C., Varriano, N., Cariello, J., Kruse, E.; Rojo, A., Deluchi, M., Lauren-cena, P. (2011). *Cuencas del arroyo El Pescado y del Gato en los partidos de La Plata, Ber-risso y Ensenada*. Tercera Reunión Anual PROIMCA Primera Reunión Anual PRODECA.
- Boxall, A.B.A., Rudd, M.A., Brooks, B.W., Caldwell, D.J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J.P., Verslycke, T., Ankley, G.T., Beazley, K.F., Belanger, S.E., Ber-ninger, J.P., Carriquiriborde, P., Coors, A., DeLeo, P.C., Dyer, S.D., Ericson, J.F., Gagné, F., Giesy, J.P., Gouin, T., Hallstrom, L., Karlsson, M.V., Joakim Larsson, D.G., Lazorchak, J.M., Mastrocco, F., McLaughlin, A., McMaster, M.E., Meyerhoff, R.D., Moore, R., Parrott, J.L., Snape, J.R., Murray-Smith, R., Servos, M.R., Sibley, P.K., Straub, J.O., Szabo, N.D., Topp, E., Tetreault, G.R., Trudeau, V.L., Van Der Kraak, G. (2012). "Pharmaceuticals and personal care products in the environment: What are the big questions?" *Environ. Health Perspect.*
- Braatz, S., Kandiah, A. (2004). "Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árbo-les y bosques" En *Revista Unasyva, Organización de las Naciones Unidas para agricultura y la alimentación (FAO) N185* Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w0312s/w0312s00.htm#Contents>
- Elorriaga Y., Marino D.J., Ronco A.E., Carriquiriborde P. (2013c). *Antibiotics and non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) in a characteristic urban stream of Argentina*. Estados Unidos: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)- North America 34th Annual Meeting, Nashville.

- Elorriaga, Y., Marino, D.J., Carriquiriborde, P., Ronco, A.E., (2013a). Human Pharmaceuticals in Wastewaters from Urbanized Areas of Argentina. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 90.
- Elorriaga, Y., Marino, D.J., Carriquiriborde, P., Ronco, A.E., (2013b). Screening of pharmaceuticals in surface water bodies of the Pampas region of Argentina. *Int. J. Environment and Health* 6.
- Fent, K., Weston, A.A., Caminada, D., (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquat. Toxicol.* 76.
- Gil, M.J. et al., (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. Producción + Limpia*, 7(2)
- Halling-Sørensen, B., Nors Nielsen, S., Lanzky, P.F., Ingerslev, F., Holten Lützhøft, H.C., Jørgensen, S.E. (1998). Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment- A review. *Chemosphere* 36, 357-393.
- Jones, O.A.H., Voulvoulis, N., Lester, J.N., (2001). Human Pharmaceuticals in the Aquatic Environment a Review. *Environmental Technology* 22.
- Kookana, R.S., Williams, M., Boxall, A.B.A., Larsson, D.G.J., Gaw, S., Choi, K., Yamamoto, H., Thatikonda, S., Zhu, Y.G., Carriquiriborde, P., (2014). Potential ecological footprints of active pharmaceutical ingredients: An examination of risk factors in low-, middle- and high-income countries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 369.
- Orellana, J.A. (2005). Características de los líquidos residuales. Capítulo 8. En *Apuntes de Ingeniería Sanitaria*. Universidad Tecnológica de Rosario. pp.1–9.
- Pérez, M.R., Rossi, A.S., Bacchetta, C., Elorriaga, Y., Carriquiriborde, P., Cazenave, J. (2018). In situ evaluation of the toxicological impact of a wastewater effluent on the fish *Prochilodus lineatus*: biochemical and histological assessment. *Ecological Indicators* 84, 345-353.
- PNUD-SAYDS (2012). Calidad ambiental de las Cuencas de los Arroyos del Gato y Pereyra Provincia de Buenos Aires, Argentina. Proyecto Reducción y Prevención de la Contaminación de Origen Terrestre en el Río de la Plata y su Frente Marítimo Mediante la Implementación del Programa de Acción Estratégica de Freplata (No. ARG/09 G46). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Proyecto FREPLATA II de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). La Plata. 252pp
- SPA (2009). Plan de Gestión Integral para la recuperación y conservación del estado ecológico-ambiental del Arroyo del Gato y el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires, http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/informesEspeciales/015_InformesEspeciales_ArroyoElGato.pdf, La Plata, 304 p.
- Valdés, M.E., Amé, M.V., Bistoni, M.D.L.A., Wunderlin, D.A. (2014). Occurrence and bioaccumulation of pharmaceuticals in a fish species inhabiting the Suquía River basin (Córdoba, Argentina). *Science of the Total Environment* 472, 389-396.
- Valdés, M.E., Huerta, B., Wunderlin, D.A., Bistoni, M.A., Barceló, D., Rodríguez-Mozaz, S. (2016). Bioaccumulation and bioconcentration of carbamazepine and other pharmaceuticals in fish under field and controlled laboratory experiments. Evidences of carbamazepine metabolism by fish. *Science of the Total Environment* 557-558, 58-67.

CAPÍTULO 7

Contexto legal en materia de recursos hídricos en el Arroyo del Gato

*Darío Agustín Moyano, María Florencia Vechiati
y José María Martocci*

El ser humano ha tenido una visión antropocéntrica acerca de las relaciones establecidas con el medio ambiente. Desde esta visión, se han degradado la gran mayoría de ecosistemas existentes en el planeta. La primera alarma acerca de la degradación de ecosistemas lo hizo el Club de Roma en el año 1968; desde entonces, han abordado problemáticas de crisis ambiental desde el punto de vista físico y social. Este debate, tuvo su primer gran evento en la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro, Brasil, en el año 1992. Allí, se desarrolló el concepto de sustentabilidad y se establecieron políticas a seguir por los países para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras. El presente trabajo aborda el esfuerzo en materia jurídica de la República Argentina para cumplir con el concepto de sustentabilidad.

A pesar de la impronta de la ideología del progreso y su concepción antropocéntrica de la Naturaleza, finalmente se han generado nuevas ideas, colocándola como centro de protección y cuidado; rompiendo con las visiones tradicionales. Es importante revisar las concepciones sobre el desarrollo que explican esas estrategias de aprovechamiento de la Naturaleza desde una ecología política. La problemática socio-ambiental actual responde en buena medida a las consecuencias de esas estrategias, y los conceptos que se defiendan presuponen ideas sobre el desarrollo y la Naturaleza que deben revisarse para avanzar a un camino alternativo volcado a la sustentabilidad.

La creciente atención sobre la necesidad de proteger la Naturaleza y sus recursos ha desembocado en propuestas de desarrollo sostenible. No es raro que ante el interrogante de cómo permitir el desarrollo y asegurar la conservación del ambiente, se conteste que la respuesta reside en el desarrollo sostenible. Esa particular visión del desarrollo sería la que asegura la preservación de la Naturaleza. A lo largo de los últimos años ha quedado en claro que *desarrollo sustentable* en realidad esconde varias propuestas, a veces contradictorias entre ellas, y que no necesariamente asegura los objetivos de conservación y desarrollo (Gudynas, 2004)

Objetivos del capítulo

En el presente capítulo nos proponemos analizar las normativas nacionales, de la provincia de Buenos Aires y del municipio de localidad de La Plata, en relación a la gestión de cuencas hídricas (protección, ordenamiento territorial, etc.), y su comparación con la legislación de otras regiones de nuestro país y de otras partes del mundo.

Marco jurídico

Para comprender el desarrollo del Derecho Ambiental en nuestro país, es preciso distinguir algunos períodos que se destacan en su elaboración. Sólo así, se comprenderá el arribo a la normativa ambiental actual y su marco de referencia. En efecto, se pueden distinguir varias etapas en la formulación de normas ambientales en Argentina, las cuales pueden sintetizarse en:

- 1- Regulación estática de los recursos naturales
- 2- Tratamiento dinámico del ambiente. Etapa subdividida en:
 - Aprobación de Tratados Ambientales Internacionales
 - Normativa Provincial
- 3- Reforma de la Constitución Nacional
- 4- Elaboración de Normas de Presupuestos Mínimos

En el marco jurídico, se establece un esquema piramidal, cuyo ápice está conformado por la Constitución Nacional. Le siguen, en orden descendiente, las leyes nacionales, provinciales y por último las ordenanzas que son de carácter municipal. Las leyes y ordenanzas de los diferentes escalones de la pirámide no deben contradecirse entre sí, teniendo que modificarse la ley u ordenanza que se encuentre más abajo en la escala piramidal.

Los recursos naturales en nuestra organización político-constitucional son de dominio público. Esto implica que determinado bien o bienes por sus características sirven a la comunidad de determinada manera (de forma directa o indirecta) y el Código Civil y Comercial de nuestro país los coloca en propiedad del Estado. Además, el dominio de las cosas que se encuentran en los territorios provinciales es potestad de las provincias según la Constitución Nacional, a menos que una determinada provincia delegue ese poder a los municipios o al estado federal.

Leyes nacionales

Entre las leyes a nivel nacional que comprenden el uso de recursos naturales, es importante mencionar el artículo 41 de la Constitución Nacional. Este establece el derecho de gozar y preservar de un ambiente sano y equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las activi-

dades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras. Dicho artículo es muy importante, porque a pesar de ser muy general, debido a que después las distintas provincias del territorio argentino van a reglamentar de la forma debida según cada región, dado que nuestro país tiene un sistema federal, se establece la directiva desde la nación que las políticas a seguir en materia de medio ambiente deben ser en un sentido explicito, y este sentido es el de salvaguardar al ambiente de futuros deterioros que puedan ser ocasionados por la mano del hombre, sin por eso dejar de tener actividades productivas, pero teniendo en cuenta que se debe tener un compromiso de requerir los bienes naturales pero sin deteriorarlos.

En cuanto al punto tercero mencionado en el acápite anterior -Reforma Constitucional- nuestra Suprema Corte de Justicia de la Nación, ha indicado, en una sentencia que constituye un punto de inflexión en materia de derecho al ambiente que:

El reconocimiento de status constitucional del derecho al goce de un ambiente sano, así como la expresa y típica previsión atinente a la obligación de recomponer el daño ambiental no configuran una mera expresión de buenos y deseables propósitos para las generaciones del porvenir, supeditados en su eficacia a una potestad discrecional de los poderes públicos. El reconocimiento de status constitucional del derecho al goce de un ambiente sano, es la precisa y positiva decisión del constituyente 1994 de enumerar y jerarquizar con rango supremo a un derecho preexistente.

Asimismo, y haciendo referencia a la última etapa mencionada anteriormente, se pasan a detallar las leyes de presupuestos mínimos que desde el año 2002 hasta la fecha se han dictado, haciéndose luego especial mención a aquellas que resultan de más aplicación al tema que nos convoca:

- Ley 25.612 Presupuestos Mínimos para la Gestión Integral de los Residuos Industriales y de Actividades de Servicio
- Ley 25.670 Presupuestos Mínimos para la Gestión y Eliminación de PCBs
- Ley 25.675 Presupuestos Mínimos para la Gestión Sustentable y Adecuada del Ambiente
- Ley 25.688 Régimen de Gestión Ambiental de Aguas
- Ley 25.831 Información Pública Ambiental
- Ley 25.916 Gestión de Residuos Domiciliarios
- Ley 26.331 Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos
- Ley 26.562 Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para el Control de las Actividades de Quema
- Ley 26.639 Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial.

La Ley 25675 - Ley General de Medio Ambiente

Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable (artículo 1). Los objetivos que perseguirá la política ambiental nacional establecidos son: i) asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales; ii) fomentar la participación social en la toma de decisiones; y iii) promover la sustentabilidad ecológica, económica y social de los recursos naturales; asegurar el libre acceso a la información ambiental.

Por otro lado, los principios más destacable en esta ley son: i) el principio de prevención, por el cuál las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir; ii) el principio precautorio, dicta que cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente; iii) el principio de equidad intergeneracional, sostiene que los responsables de la protección ambiental deberán velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras; iv) el principio de sustentabilidad, establece que el desarrollo económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal, que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras.

Los instrumentos de la política y gestión ambiental plasmados en el Ley son: i) el ordenamiento ambiental del territorio, ii) la evaluación de impacto ambiental, que establece la necesidad de realizar una evaluación de impacto ambiental en cualquier obra o actividad que pueda contener un riesgo potencial a la integridad del ambiente; iii) el sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas, iv) la educación ambiental, apunta a generar valores, comportamientos y actitudes que posibiliten la sustentabilidad del medio ambiente, mejorando de esa forma la calidad de vida de las personas; v) el sistema de diagnóstico e información ambiental, la responsabilidad de las autoridades informar sobre el estado del medio ambiente y los efectos que le puedan provocar las actividades antrópicas sobre él y sistematizar la información y desarrollar un sistema nacional integrado de información, y vi) el régimen económico de promoción del desarrollo sustentable.

También se habla de los derechos de los ciudadanos los cuales deben ser consultados y pueden expresar su opinión a través de audiencias públicas en la autorización de actividades que pueden tener como consecuencia cambios importantes en el ambiente, aunque estas audiencias no son de carácter vinculante, es decir, si la población que se acercó a una audiencia expresa su inconformidad al final de la misma, la autoridad responsable puede autorizar de todas maneras el inicio de la actividad discutida en esa audiencia.

Esta ley es relevante dado que en principio establece los presupuestos mínimos que deben emplearse para la gestión en materia medioambiental, esto significa que se fija un piso de de-

rechos para la gestión medioambiental, de los cuales no se puede retroceder y no pueden verse reducidos. Además, se establecen tanto objetivos como principios en los cuales se pretende una actividad activa por parte de la población, para lo cual es necesario que esta esté informada de los distintos aspectos que conlleva tanto una obra arquitectónica de cualquier tipo (barrios, industrias, etc.) como destinar ciertas áreas a actividades como crear un basural o que sea una zona recreativa. A través de esta ley se puede alegar ante la falta de conocimiento de por ejemplo las reformas de los entubamientos de los arroyos si es un bien tanto para la sociedad como para el medioambiente que se paren las obras hasta que no se conozcan todos los efectos a nivel global (en cuanto a las demandas del ecosistema y de la sociedad) para poder asegurar que esa obra es verdaderamente beneficiosa.

Para esto, es fundamental el desarrollo de un plan integral de educación medioambiental. Sin embargo, implementar políticas educativas que se limiten al cuidado y la toma de consciencia por parte de un ciudadano promedio, es un error. En este sentido no es la ley la que falla, si no su aplicación por parte de las autoridades de gestión. Si bien existen talleres, proyectos de extensión universitarios y demás actividades afines, no son suficientes. Tampoco están reguladas por un organismo competente tanto a nivel nacional, como provincial y municipal, ni están articulados los diferentes niveles en virtud de proyectar una educación real y al alcance de toda población.

La educación también implica la participación activa de la sociedad, puesto que sin educación es muy difícil estimular el interés, el pensamiento crítico y la participación activa en la gestión medioambiental, tal y como establece la ley. En este sentido, es pertinente hablar de conveniencias políticas: una población, cuanto más desconoce sus derechos, vulnerable se torna. Esto, habilita al gobierno en ejercicio a aplicar la política que más le convenga, manipulando a sus ciudadanos y simulando toma de decisiones –en este caso obras- que, en un principio, suponen un beneficio para la comunidad. Desde esta perspectiva, los proyectos -y la gestión en general- serían abordados en función de logros a obtener, los cuales posibilitarían la permanencia de los funcionarios en ejercicio en el poder. A esta altura, está claro que cuando se habla de sociedad, se la piensa escindida del ecosistema. El abordaje político tradicional deja librado al azar las consecuencias que acarrea la problemática ambiental, con tal de no tener costos políticos. De ahí el desafío para la educación ambiental de comprender los procesos naturales, que en materia temporal exceden de manera superlativa los tiempos de gestión política. Esta ley además crea el COFEMA (Consejo Federal del Medio Ambiente), entidad encargada del ordenamiento territorial con la intervención de diferentes actores en el campo ambiental (sociedad y administración pública).

Ley 25.831 - Régimen de libre acceso a la información pública

El Artículo 1 establece los presupuestos mínimos para garantizar el derecho de acceso a la información ambiental que se encuentre en poder del Estado, tanto en el ámbito nacional como provincial, municipal y de la Ciudad de Buenos Aires; como así también de entes y empre-

sas prestadoras de servicios públicos, sean públicas, privadas o mixtas. En el Artículo 2 se define a la información ambiental como toda información en cualquier forma de expresión o soporte relacionada con el ambiente, los recursos naturales o culturales y el desarrollo sostenible. El artículo 3 establece que el acceso a la información ambiental será libre y gratuito para toda persona física o jurídica, a excepción de aquellos gastos vinculados con los recursos utilizados para la entrega de la información solicitada. También establece que para acceder a la información ambiental no será necesario acreditar razones ni interés determinado, sino que bastará con presentar una solicitud formal ante quien corresponda, en donde se exprese la voluntad de adquirir la información requerida y la identificación del o los solicitantes que tienen que ser residentes en el país, salvo que se trate sobre otros países con los que se establecieron acuerdos u organismos internacionales sobre la base de la reciprocidad. En el artículo 4 habla de que las autoridades competentes de los organismos públicos, y los titulares de las empresas prestadoras de servicios públicos, sean públicos, privados o mixtos, están obligados a facilitar la información ambiental requerida. En el artículo 7 se dicen los casos en los cuales se puede negar la autoridad competente a brindar información ambiental: i) cuando se pueda derivar en una afectación a la defensa nacional, la seguridad interior o las relaciones internacionales; ii) cuando la información esté involucrada en un procedimiento judicial y la liberación de esa información pueda perjudicar al desarrollo de tal procedimiento; iii) cuando se pueda afectar el secreto comercial o industrial, o la propiedad intelectual; cuando se pueda afectar la confidencialidad de datos personales; iv) si la información solicitada son trabajos de investigación científica que todavía no han sido publicados; y v) cuando la información solicitada esté clasificada como secreta o confidencial. En todos los casos la negación de la información deberá ser correspondientemente fundada.

Esta ley es muy importante sobre todo para la población interesada en materia medioambiental debido a que brinda la potestad de recibir información en forma libre, gratuita y sin tener que dar ningún tipo de explicación. Por otra parte, la solicitud de información no es tan sencilla como parece: La persona interesada en obtener información medioambiental puede toparse con procesos burocráticos lentos o la negativa por parte de entidades que apelan a excepciones establecidas por la ley. Por otro lado, para que una ley sea válida, es condición necesaria que la información esté disponible, cosa que no sucede a menudo. Por ejemplo, si entramos en la página web del Ministerio de Medio Ambiente de la Nación, probablemente nos encontremos con una sección que contiene el articulado nacional, otra sección que nos notifica sobre los principales acontecimientos, obras, sanciones que han involucrado a dicho ministerio en los últimos meses.

Es menester tomar consciencia que no somos algo apartado del ecosistema en el cual vivimos y se tiene que aprender a tener una mirada más global, más transversal a todas las problemáticas que se vienen sucediendo y poder desde esa mirada dar una posible solución, teniendo en cuenta todas las aristas que involucra. En cuanto a la presentación de la información, al traducir las leyes desde el lenguaje técnico de los abogados a un lenguaje más asequible, se está facilitando y democratizando el acceso de la información a la población. A nivel

provincial la problemática se profundiza porque gran parte de los ciudadanos no saben el nombre del organismo provincial que se encarga de cuestiones medioambientales. En cuanto a un nivel municipal, la municipalidad de La Plata, por ejemplo, ofrece un buscador de ordenanzas. Sin embargo es necesario saber el número de ordenanza que se desea encontrar, lo que torna dificultosa la búsqueda general y por ende, restringe el acceso democrático a la información. En este sentido, sería beneficioso para el cumplimiento de esta ley establecer conexiones entre las diferentes páginas web de los diferentes estratos de gobierno para facilitar la búsqueda. Dado que la problemática medioambiental es transversal a la temática social, económica, jurídica, etc., una primera medida en virtud de democratizar el acceso a la información medioambiental podría ser el cruce y redireccionamiento entre los sitios web de las diferentes instancias estatales (Ministerio, Secretaría, municipio). Asimismo, garantizar la localización de ordenamientos territoriales y casos judiciales, por ejemplo, ayudaría a los investigadores a construir una mirada trasversal del tema.

Código Civil

En el régimen del Código Civil derogado no estaba prevista normativamente la función preventiva de la responsabilidad civil, actualmente receptada en el nuevo Código Civil y Comercial (CCCN). En el nuevo CCCN unificado la responsabilidad civil cumple dos funciones: a la clásica función resarcitoria o reparatoria (arts. 1716 a 1736 CCCN) se le añade la preventiva (arts. 1710 a 1713 CCCN). La prevención se emplaza en el marco de la unidad sistémica del derecho privado (arts. 1 y 2 CCCN), la constitucionalización del derecho civil, el dialogo de fuentes entre la Constitución Nacional, el CCCN y la legislación especial o microsistémica (por ejemplo, el derecho del consumo, el derecho ambiental, etc.), y de la importancia relevante de la interpretación judicial sustentada en el trípede de reglas, principios y valores (arts. 1, 2, 3 y concs. CCCN), a lo que se suma el deber general de no dañar, de fuente constitucional (art. 19 CN) y legal (arts. 1708, 1716 ,1717 y CCCN) y el derecho a la seguridad en la relación de consumo, también de origen supralegal (art. 42 CN).

Código civil: 235 inciso 3, establece que forma parte de los bienes públicos ríos, sus cauces, aguas que corren por cauces naturales y toda otra agua que tenga la propiedad de satisfacer usos de interés general, incluyendo las aguas subterráneas, sin perjudicar el derecho del propietario de aquellas tierras que contenga estas aguas de extraerlas en la medida de interés y sujetándose a la reglamentación. Acá se pone en evidencia no sólo a quien pertenecen los cuerpos de agua que satisfagan usos de interés general, sino también de quien es responsabilidad de velar por la protección de estos cuerpos de agua. Está claro que los propietarios de las tierras por las cuales atraviesan los diferentes cursos de agua tengan el derecho a utilizarla en su beneficio, pero de manera limitada; siempre y cuando no afecte a la integridad de ríos y arroyos. El problema que queda de manifiesto es que no se aclara cuáles son esos los límites: por ejemplo, se podría considerar que hacer una ra-

mificación al curso de agua con fines agrícolas pueda ser perjudicial. En este sentido, un nuevo problema emerge cuando un ciudadano, dueño de estas tierras, se dispone a estudiar la ley para poder saber exactamente que puede y que no puede hacer con el curso de agua que atraviesa su tierra, no sepa cómo abordar la investigación.

Leyes provinciales

Ley 11723 - Protección y conservación de recursos naturales y del medio ambiente

Esta Ley, persigue los mismos fines que la Ley General del Medio Ambiente, pero aplicado a la provincia de Buenos Aires.

Los más destacables para mencionar son el artículo 7, el cual da cuenta de cómo localizar actividades productivas y asentamientos humanos en función de las características de cada bioma, de la economía local y las alteraciones que se producen en los biomas a causa de los asentamientos urbanos ya existentes o fenómenos naturales. El artículo 39 establece los principios que regirán las políticas de protección y mejoramiento del recurso agua (tratamiento integral de los sistemas hidráulicos y del ciclo hidrológico, economía del recurso, participación de los usuarios). El artículo 40 establece las actividades que deberá realizar las autoridades de aplicación provincial (establecer patrones de calidad de aguas y/o niveles guías de los cuerpos de agua y evaluar permanentemente la evolución del recurso, tendiendo a su optimización de la calidad).

Esta habla de la correcta distribución de actividades productivas y asentamientos humanos. No obstante, al hablar de su aplicación concreta, dicha ley resulta marginal. Por ejemplo si tomamos los asentamientos urbanos en la zona del Arroyo del Gato, podemos observar construcciones a sus orillas, lo cual no se condice con el propósito de esta ley. Esto implica el incumplimiento de la ley en términos de mantenimiento y saneamiento del arroyo. La ley propone un tratamiento integral del ciclo hidrológico, pero para que la normativa pueda implementarse correctamente, es necesario un previo conocimiento del funcionamiento del ciclo hidrológico del Arroyo del Gato. Este tipo de conocimiento, por ejemplo, es necesario al momento de desarrollar planes de reubicación de viviendas.

Otro aspecto normativo mal implementado se halla en el escaso monitoreo de los cuerpos de agua, mediante niveles-guías de calidad. El Arroyo del Gato no alcanza los niveles de calidad óptimos porque los vecinos de la zona arrojan residuos a su cauce y esto, no sólo compromete sus parámetros fisicoquímicos, sino también contribuye a la formación de diques de basura que entorpecen el curso de agua y obturan su escurrimiento. Traemos a colación esto último porque estimamos una perspectiva crítica y ampliada de la problemática, y en este sentido, creemos que no es necesario acudir a guías de calidad de aguas, sino que se trata, en

primer lugar, de relevar el curso del agua. En segundo lugar, de garantizar un sistema de recolección de basura que reduzca la acumulación de residuos y por último, llevar a cabo un plan de saneamiento del arroyo.

Ley 11964 (1997)

Trata la temática de demarcación en terreno, cartografía y preparación de mapas de zonas de riesgo, áreas protectoras de fauna y flora silvestres y control de inundaciones. En su artículo 1 establece la preparación de mapas de riesgo que incluyan líneas limítrofes delimitando zonas prohibidas, con restricciones severas, con restricciones parciales y delimitando la zona de advertencia. También establece la obligatoriedad de hacer evaluación de impacto ambiental. En el artículo 15 habla de limitar y restringir las actividades que se pueden realizar en zonas que se consideren áreas inundables o anegables, entre las que se encuentran la prohibición a edificar, habitar o reparar determinados tipos de edificios; de darle determinados usos a esas tierras; obligación de demoler obstáculos al libre escurrimiento de las aguas; de construir y mantener drenajes y desagües privados; modificar obras ya existentes para adecuarlas a la normativa; obligación de construir obras privadas defensivas contra las inundaciones.

Esta ley es fundamental para la correcta aplicación de leyes como la ley provincial 11723 porque los datos recopilados de los mapas de riesgo permiten configurar un ordenamiento integral del territorio. Que sea un plan integral significa que deben atender tanto las necesidades sociales como las necesidades del ecosistema, en virtud de garantizar un habitat sustentable y de fomentar relaciones sociales en concordia con la naturaleza. No obstante, si nos detenemos en las zonas aledañas al Arroyo del Gato, observamos que el avance, en casi veinte años de implementada esta ley, ha sido muy lento. Es más, el plan de reubicación de familias que habitaban las orillas del arroyo está enmarcado en un programa de canalización del Arroyo del Gato; programa que emerge junto con otro grupo de políticas públicas que *intentaban* dar respuesta a las terribles consecuencias que había dejado la inundación de 2013.

Ley 12257 - Código de aguas

El Código de aguas establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires. En su artículo 3 dicta la creación de la Autoridad del Agua (ADA), que es el organismo que tendrá a su cargo –en materia de recursos hídrico- la planificación, registro, constitución y protección de los derechos; como así también su cumplimiento y ejecución. El artículo 140 establece que los propietarios limítrofes con los ríos, arroyos, canales, lagunas y embalses de dominio público están obligados a permitir el uso público de la navegación, la flotación, la pesca y el salvamento, en hasta una distancia de diez metros del límite externo de la ribera. Esto es muy importante, debido a que en este artículo se hace

referencia al poder que la policía le confiere al ADA. En el caso del Arroyo del Gato, esos diez metros no se dejan para el uso público de interés general, puesto que a orillas del arroyo se construyen viviendas familiares que convierten esas tierras en propiedad privada. Por ello es importante investigar el programa de ADA para la zona del Arroyo del Gato para conocer exactamente que se ha hecho, a lo largo de las gestiones, para cuidar este recurso hídrico, y conocer los planes a futuro.

Decreto Ley 8912/77

Dicho Decreto Ley rige el ordenamiento del territorio de la provincia regulando el uso, ocupación, subdivisión y equipamiento del suelo. En el artículo 2 se establecen los objetivos del ordenamiento territorial, entre los cuales se encuentran la preservación y el mejoramiento del medio ambiente -mediante una adecuada organización de las actividades en el espacio-, la prohibición de acciones degradantes del ambiente y la corrección de los efectos ya ocurridos. La implementación de recursos que posibiliten eliminar excesos especulativos, en pos de garantizar ordenamientos urbanos que preserven los intereses generales de la comunidad; posibilitar la participación de la comunidad en el proceso de ordenamiento territorial.

Este decreto sancionado en la época la última dictadura cívico-militar, no ha tenido en su ejecución un éxito como pretende dicha reglamentación. Para empezar, la planificación de ordenamiento territorial para la preservación y mejoramiento del medio ambiente, si es que alguna vez se ha hecho, nunca se llevó a cabo. Ejemplo de ello es el Arroyo del Gato, donde se puede notar que las diferentes viviendas no están organizadas y colocadas según un ordenamiento territorial que contempla las necesidades sociales y del propio ecosistema. En cuanto a la prohibición de acciones degradantes para el ecosistema, tampoco se cumple ya que la zona del Arroyo del Gato es víctima de una acumulación residual de años. Otro punto interesante de esta normativa es que permite implementar mecanismos legales para evitar movimientos especulativos, en virtud de un ordenamiento territorial ordenado y eficiente. Estas herramientas nunca se emplearon en La Plata, al contrario, han proliferado las especulaciones inmobiliarias. Esto repercute negativamente en el ecosistema: por ejemplo, como consecuencia del incremento en el índice de población en ciertas áreas de la ciudad, aumenta caudal de efluentes domiciliarios que van a derivar en los arroyos que atraviesan el partido de La Plata. Esto conduce a los arroyos a llevar al límite su capacidad de depuración y, por consiguiente, dificulta que puedan mantener niveles aceptables de efluentes domiciliarios y agentes degradantes.

Ley 8553

Sancionada en 1975, esta ley es importante debido a que la provincia de Buenos Aires le transfiere a la Municipalidad de La Plata las obras y conductos de desagües pluviales existen-

tes dentro del distrito, ejecutadas por el entonces Ministerio de Obras Públicas para el servicio de la ciudad. Dicha transferencia no quiere decir que se ha delegado la jurisdicción provincial sobre esas obras, ni que se ha transferido las obras realizadas con posteridad. Implica que el municipio, al poseer dominio sobre estas obras, tiene el deber de mantenerlas en buenas condiciones. Esta ley es una excepción a la normativa general, dado que hay pocos casos en los que la provincia le delega a un municipio responsabilidades relativas al recurso hídrico. En otras palabras, el gobierno de la provincia de Buenos Aires le transfiere al municipio la responsabilidad de mantener el cuerpo de agua en condiciones óptimas para su normal desarrollo, de garantizar su uso sustentable, en resumen, el conjunto de responsabilidades que tiene la provincia para con otros cuerpos de agua. La población en general es importante que conozca esta ley porque en caso de inundaciones -donde una obra inadecuada sobre los conductos pluviales podría ser considerada como causal- el responsable es el municipio; con lo cual, si un ciudadano damnificado quisiera iniciar acciones legales, debería querellar contra el municipio y no contra la provincia.

Ley 5965

Denominada *Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera*. En su artículo 2 prohíbe el envío de efluentes residuales sólidos, líquidos o gaseosos de cualquier origen a la atmósfera o a cualquier cuerpo de agua, sea superficial o subterránea, que signifique una degradación del aire o de las aguas de la provincia, sin previo tratamiento de depuración o neutralización que los convierta en inocuos e inofensivos para la salud de la población y que genere daños y/o obstrucciones en los cursos o cuerpos de agua. En el artículo 3 se establece que solo se permitirá la evacuación de las aguas de lluvia por los conductos pluviales. Los artículos 7 y 9 establecen las facultades de la municipalidad como ente controlador del cumplimiento de esta ley, pudiendo imponer y percibir multas.

Como la gran mayoría de las leyes explicadas anteriormente, esta tampoco se cumple en su totalidad. Las autoridades municipales tienen la facultad de implementar un sistema de apercibimientos para castigar la contaminación del arroyo y en las costas del Arroyo del Gato se puede apreciar la acumulación de basura arrojada desde los domicilios lindantes a sus orillas. Una posible solución a este problema sería establecer un sistema de recolección de basura con una frecuencia que satisfaga las necesidades de los habitantes de la zona. Otra solución implicaría políticas educativas que ayuden a los habitantes de la zona a tomar consciencia del impacto en la salud y el ambiente que supone tirar residuos al arroyo. La otra responsabilidad que le concierne a la municipalidad es la de establecer multas a quienes no respeten la normativa vigente. Esto implica enfrentar costos políticos puesto que aplicar multas -a una población en su mayoría vulnerable en materia social y económica- cuando el organismo encargado no ha hecho todo lo que estaba en su poder para mejorar la situación, conlleva una mirada más recaudatoria que preocupada por la salud del arroyo, del ecosistema y de la sociedad en sí.

Ley 12247 - Cuenca del Arroyo El Pescado

La Ley 12247 establece como paisaje protegido de interés provincial a la cuenca del Arroyo El Pescado, desde su nacimiento en el partido de La Plata (calles 612 y ruta provincial 36) hasta su desembocadura en el Río de La Plata (Balneario Bagliardi y Balneario Municipal de La Balandra partido de Berisso). En el artículo 2 de la presente ley, se establece que este arroyo debe ser conservado como un recurso hídrico libre de contaminación y mantener la integridad del paisaje, para lo cual, en el artículo 5 establece la consideración de uso de agroquímicos y pesticidas contaminantes, vuelco de efluentes cloacales, industriales, patológicos o domésticos, realización de canalizaciones, y uso extractivo del suelo como fuentes de contaminación.

Esta protección al Arroyo El Pescado es importante dado que protege su integridad contra todo tipo de modificación futura. No obstante, en vista del crecimiento poblacional en zonas aledañas, si no se establece un claro ordenamiento territorial se verá afectada la totalidad de la planicie de inundación del arroyo -hecho que ya está ocurriendo en algunos sectores. Esto impide que el Arroyo El Pescado pueda mantenerse prístino como se pretende con la presente ley. Acá es importante la gestión medioambiental por parte de la autoridad competente, de regular y controlar periódicamente la urbanización en las zonas cercanas a dicho arroyo con el fin de prevenir la constitución de asentamientos, actividades agrícolas u hortícolas. De otro modo, la autoridad competente debe estar alerta para dar solución temprana y evitar que el deterioro del arroyo se prolongue en el tiempo.

Normativas en otras provincias

Decreto Ley 191/01 (Provincia de Corrientes)

Establece el código de aguas para esa provincia. Puede destacarse el artículo 56, el cual habla de la utilización de los recursos hídricos deberá hacerse de modo que no altere el equilibrio ecológico ni afecte la calidad de vida presente o futura, esto es, se aplica el concepto de sustentabilidad. En el artículo 57 establece que no se podrá variar el régimen, naturaleza o calidad de las aguas, ni alterar los cauces naturales o artificiales ni su uso, sin previa autorización de la Autoridad de Aplicación, y bajo ningún concepto se podrá aprobar si eso significa el perjuicio de la salud pública, de la comunidad, las cuencas, y a otros recursos naturales. En el artículo 63, se establece la prohibición de verter cualquier tipo de residuo sólido líquido o gaseoso que pueda degradar o contaminar los recursos hídricos, causando daños o poniendo en peligro la salud humana, la flora o la fauna, comprometiendo su empleo para los diversos usos. Tales residuos podrán descargarse sólo si han sido sometidos a tratamientos previos de depuración o neutralización, adecuados según los criterios establecidos por autoridad de aplicación;

cuando se compruebe que las condiciones del cuerpo receptor permiten la purificación por procesos naturales.

Esta normativa de la provincia de Corrientes es bastante similar a las normativas que rigen la provincia de Buenos Aires. Esto hace énfasis en la necesidad de hacer cumplir las distintas reglamentaciones que existen en la provincia de Buenos Aires, y en el partido de La Plata para proteger a los distintos arroyos que existen en ese partido.

Ley 5589 (Provincia de Córdoba)

Trata en uno de sus libros el manejo de aguas por parte de esa provincia. En su artículo 228 establece que para la mejor administración, explotación, exploración, conservación o defensa contra efectos nocivos de las aguas, la autoridad de aplicación puede establecer restricciones al dominio privado imponiendo a sus titulares u obligaciones de hacer, de no hacer o de dejar hacer. El artículo 229 habla sobre el ingreso a predios privados; los funcionarios encargados de la administración de las aguas, tendrán acceso a la propiedad privada sólo con su identificación e indicación de la función que están cumpliendo, de lo que puede exigírseles constancia escrita; en caso de serles negada la entrada, se podrá solicitar orden de allanamiento. El artículo 231 habla acerca de las indemnizaciones que puede exigir el titular de la propiedad, las cuales únicamente serán válidas en caso de que se ocasione un daño patrimonial concreto. En el artículo 267 se declara como de utilidad pública las obras, trabajos, muebles, inmuebles y vías de comunicación necesarios para el mejor uso de las aguas, defensa contra sus efectos nocivos, construcción de obras y zonas accesorias permitiendo a la autoridad competente solicitar la expropiación de propiedad privada, especificando en cada caso los bienes a expropiar.

La provincia de Córdoba tiene una clara diferencia con respecto a la legislación en Buenos Aires, ya que en Córdoba se establece el derecho de la autoridad encargada de la gestión de las aguas a expropiar el terreno en caso de que el propietario le esté dando un mal uso. Esto supondría un gran avance en la legislación de la provincia de Buenos Aires, ya que les estaría dando una herramienta más a las autoridades de gestión para crear una presión real sobre aquellos propietarios que realicen actividades que degraden el arroyo. Obviamente también es muy difícil hacerlo en Buenos Aires y mucho más implementarlo debido a que gran parte de la riqueza de esta provincia proviene de las actividades agrícolas y además es la provincia que mayor explotación agrícola tiene el país. Estableciendo una reglamentación que permita la expropiación por mal uso del territorio, se cae en la posibilidad de perder inversiones dadas por el sector agrícola. Esto conllevaría no sólo a una pérdida en los recursos económicos de la provincia sino también a un posible ascenso del desempleo y con esto se pierde el concepto de sustentabilidad, debido a que la parte social del problema corre un riesgo importante de caer en la debacle.

Ley 2952 - Provincia de Rio Negro

Trata las políticas hídricas a seguir. En su artículo 6 establece la política hídrica de la provincia, que debe perseguir los principios de unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, participación de los usuarios, compatibilidad de la gestión pública del agua con la ordenación del territorio, la planificación del uso y aprovechamiento de los recursos provinciales, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza. El artículo 16 establece, entre otras cosas, expropiar los bienes y establecer las restricciones al dominio que resulten necesarias para la protección y mejor aprovechamiento de los recursos hídricos provinciales, imponer multas y sanciones a quienes violen la ley y su reglamentación, prevenir emergencias hídricas y sus efectos nocivos, delimitando zonas de riesgo frente a inundaciones, aluviones y crecidas; demarcando zonas de reserva o limitaciones de uso para protección del recurso; instalando mecanismos de alerta y categorizando las áreas, según los riesgos que puedan conllevar.

La legislación de la provincia de Rio Negro es completa, a grandes rasgos. Si bien tiene en cuenta casi los mismos factores que la provincia de Buenos Aires, trata de restaurar el orden natural de los ecosistemas. Esto es muy difícil de llevarlo a la práctica, sea en cualquier ecosistema, dado que la totalidad de los ecosistemas han sufrido modificaciones por el ser humano, siendo la gran mayoría de estos cambios, irreversibles. Resulta alentador que se apunte a ese objetivo, ya que esto le da mucha más claridad al gran objetivo de la legislación medioambiental: garantizar los mejores cuidados para que los suelos sigan siendo aptos en su funcionamiento, dentro del ecosistema como para las actividades humanas, a través de los años.

Ley 7070 - Salta

Trata sobre problemáticas ambientales. En su artículo 4 establece los principios por los que se regirá (principio de precaución, de gradualismo, de participación, de cooperación, de sustentabilidad, de reconocimiento de la existencia de categorías de recursos y sitios de especial interés científico, de eficiencia, de minimización del impacto ambiental, de estudio global de los efectos ambientales, de viabilidad social y de contaminador pagador). En su artículo 5 establece las acciones a realizar que van desde la formulación de objetivos de calidad ambiental, metas y estrategias, planes y programas para alcanzarlos; prohibición de actividades, productos y residuos dañinos y degradantes o susceptibles de degradar el medio ambiente; recuperación o restauración del medio ambiente; ordenamiento territorial y las actividades o proyectos destinados a la utilización racional y sustentable de los recursos naturales; planeamiento ambiental y la asignación racional de recursos renovables y no renovables; creación de instrumentos de gestión, control y administración; establecimiento, desarrollo o fomento de actividades que estimulen la participación de la población para la defensa del medio ambiente; actividades de difusión y educación ambiental. En el artículo 26 se crea el Consejo Provincial del Medio Am-

biente, el cual estará integrado por Las distintas áreas del Gobierno con incumbencia en cuestiones ambientales, las Universidades, las Organizaciones Ambientalistas no gubernamentales con personería jurídica y las asociaciones empresarias. Este consejo tendrá como labor participar en mediaciones de controversias en temas ambientales, asesorar a organismos públicos o a entidades privadas en temas ambientales, sugerir adiciones o perfeccionamientos a la presente ley, sugerir medidas de protección, defensa o mejoramiento del medio ambiente, promover la difusión de temas ambientales en la población. En su artículo 67 establece que la autoridad competente debe implementar zonas de protección en donde el uso de la tierra aleja ríos, lagos, embalses donde las actividades produzcan impactos negativos en las aguas restringiendo de esa manera el uso de esas tierras. En el artículo 71 establece que la autoridad competente será parte de la elaboración de un sistema de clasificación de las aguas subterráneas, según su vulnerabilidad y hará mapas de vulnerabilidad.

Se eligieron estas provincias para tener una mirada más integral del país en cuanto a legislación. En el caso de Salta, esta provincia sigue los mismos estándares que el resto de las provincias analizadas, con lo cual se nota la preocupación a nivel país de la problemática hídrica. Más allá de las particularidades propias de cada provincia, todas apuntan al mismo objetivo. En este sentido, se puede apreciar que los defectos y fortalezas que tiene la provincia de Buenos Aires en cuanto a la legislación son, al menos, comunes a otras regiones del país. Esto quiere decir que la gran problemática no está en la redacción de legislación, si no en la correcta implementación de las mismas.

Ordenanzas municipales

Ordenanza 10703/10

Dicha Ordenanza organiza el territorio local en áreas y zonas, establece el reglamento para el parcelamiento y subdivisión, regula y clasifica los distintos usos del suelo, establece la intensidad de la ocupación y los espacios libres. Esta ordenanza persigue los mismos fines que el Decreto Ley 8912/77, pero aplicado al municipio de La Plata, y básicamente se ven las mismas problemáticas que se observan en el Decreto Ley 8912/77. Obviamente el territorio no se encuentra ordenado según una clasificación de suelos, no se establece una intensidad de la ocupación y los espacios libres cada vez son menores. Esto se nota en el partido de La Plata, donde los movimientos especulativos tiraron por tierra los criterios de densidad de la ocupación, lo que, como he dicho anteriormente, esto lleva a una presión sobre el ecosistema que tampoco se sabe cuál es el efecto a mediano y largo plazo.

Legislación en otros países

En España, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente desarrolló el *Reglamento del Dominio Público Hidráulico: Proyecto Linde* (MAPAMA 1986), el cual está encargado de delimitar y deslindar físicamente las zonas de dominio público hidráulico presionadas por intereses que corren riesgos de ser usurpados, explotadas abusivamente o degradados. Este proyecto tiene como objetivos regularizar a corto plazo las situaciones abusivas en el dominio público hidráulico, estimar el potencial económico compatibilizándolo con la protección, preservación de los espacios naturales y proporcionar conocimientos del régimen hidrológico e hidráulico de los cauces que permite reducir riesgos potenciales.

Si reparamos en el proyecto *Linde*, España es un buen ejemplo de gestión, en cuanto a prevenir efectos negativos en los cursos de agua. Este proyecto podría ser empleado como ejemplo en Argentina. Aunque también es importante aclarar que un proyecto de estas características en nuestro país necesitaría una independencia casi total respecto de algún otro organismo de gestión estatal, algo bastante complejo de lograr, y que de llevarse a cabo, los integrantes del proyecto sería tanto actores sociales, como políticos, empresarios y las universidades. Esta conformación traería aparejado muchas discusiones interminables que peligrarían las acciones a corto plazo destinadas a la preservación de un ecosistema, en este caso de cuerpos de agua. Por esto, es necesario subir el nivel de discusión, no sólo para una rápida resolución, sino también para hacer la discusión en pos de una mejoría tanto en términos ecológicos, sociales y económicos, pero para esto es necesario que haya una educación que pueda acompañar a esta alza del nivel de discusión.

En Australia, específicamente en el estado de Victoria (Melburne Water, 2017), se llevan a cabo una variedad de actividades para proteger los cursos de agua, a partir de la entrega de trabajos sobre el suelo que participan en la planificación estatal y regional. También poseen programas de apoyo y educación. Sus actividades de terreno se centran en: manejo de la vegetación (la plantación de las orillas de ríos y eliminación de malezas), proporcionar refugio para la fauna y la vegetación. Investigan las exigencias del medio ambiente y la población local, por lo que calculan la cantidad de agua que se necesita para una región específica y el mejor momento para tomar o liberar.

El estado de Victoria en Australia es un buen ejemplo a nivel de educación ambiental y nos sirve para entender como funcionan los cursos de agua de manera integrada con el entorno que los rodea. Esto se podría implementar en Argentina, aunque hay cuerpos de agua, como por ejemplo el Arroyo del Gato, que están muy deteriorados. Asimismo, también hay que entender que Australia posee ecosistemas muy susceptibles frente a especies extranjeras (tanto plantas como animales) lo que obliga a las autoridades australianas a tener máximos recaudos con sus ecosistemas para no dañarlos más de lo que ya han hecho las diferentes expediciones inglesas en el proceso de colonización.

Fallos ilustrativos de la materia ambiental

Aquí resulta de interés mencionar otro de los acápites del fallo previamente mencionado donde se destaca la presencia del bien colectivo que se pretende resguardar. En efecto, ha dicho el máximo Tribunal del país...

La presente causa tendrá por objeto exclusivo la tutela del bien colectivo. En tal sentido tiene prioridad absoluta la prevención del daño futuro, ya que según se alega en el presente se trata de actos continuados que seguirán produciendo contaminación. En 2º lugar, debe perseguirse la recomposición de la polución ambiental ya causada conforme a los mecanismos que la ley prevé, y finalmente, para el supuesto de daños irreversibles, el resarcimiento (...)

El daño que un individuo causa al bien colectivo ambiente se lo está causando a sí mismo. La mejora o la degradación del ambiente beneficia o perjudica a toda la población, porque es un bien que pertenece a la esfera social y transindividual, y de allí deriva la particular energía con que los jueces deben actuar para hacer efectivos estos mandatos constitucionales. En la tutela del ambiente importa el cumplimiento de los deberes que cada uno de los ciudadanos tienen respecto del cuidado de los ríos, de la diversidad de la flora y la fauna, de los suelos colindantes, de la atmósfera. Estos deberes son el correlato que esos mismos ciudadanos tienen a disfrutar de un ambiente sano, para sí y para las generaciones futuras. No hay dudas de que la presente causa tiene por objeto la defensa del bien de incidencia colectiva configurado por el ambiente. En este caso, los actores reclaman como legitimados extraordinarios para la tutela de un bien colectivo, el que, por naturaleza jurídica, es de uso común, indivisible y está tutelado de manera indisponible por las partes, ya que primero corresponde la prevención, luego la recomposición y en ausencia de toda posibilidad, dará lugar al resarcimiento.

En cuanto a la vía procesal un caso paradigmático es "Halabi" (2009) donde por primera vez la Corte Suprema calificara un caso judicial como acción colectiva, fundada en la presencia de derechos individuales homogéneos y destaca la actividad del juez en el proceso. Se expuso la necesidad de contar con instrumentos jurídicos que regulen estas nuevas formas de procesos que merecen un tratamiento distinto y característico. Esta actividad judicial proactiva se traduce además en medidas procesales innovativas (audiencias públicas, *amicus curiae*, observación del cumplimiento de resoluciones, etc.).

La acción de clase habilitada en "Halabi", si bien no es una sentencia exhortativa, sino integradora o aditiva, introduce un medio procesal adecuado para hacer efectivas las acciones colectivas que proyecta el art. 43 de la CCNN. Ello muestra la creatividad que caracteriza a la jurisdicción constitucional de la Corte, cuyo antecedente más prominente se encuentra en la doctrina sentada en los casos "Siri" y "Kot". Merced al movimiento integrativo que caracteriza la labor de los jueces en su tarea de llenar los vacíos legales y suplir o paliar la omisión del legislador, se ha logrado reunir las pautas necesarias para enmarcar, condicionar y describir las exigencias de los procesos supraindividuales.

No puede dejar de mencionarse el famoso fallo “Salas, Dino” culmine en materia de protección al ambiente y de innovación, que refleja con claridad los elementos de uno de los principios ya mencionados, el principio Precautorio. El principio precautorio produce una obligación de previsión extendida y anticipatoria a cargo del funcionario público. Por lo tanto, no se cumple con la ley si se otorgan autorizaciones sin conocer el efecto, con el propósito de actuar una vez que esos daños se manifiestan. Por el contrario, el administrador que tiene ante sí dos opciones fundadas sobre el riesgo, debe actuar precautoriamente, y obtener previamente la suficiente información a efectos de adoptar una decisión basada en un adecuado balance de riesgos y beneficios.

Conclusión

En materia judicial, Argentina ha abordado la problemática ambiental de modo sistemático y sostenido en el tiempo, a pesar de ser un campo relativamente nueva dentro del derecho (las leyes más antiguas datan de hace cuarenta años atrás). No obstante, la principal deficiencia que observamos es la falta de políticas educativas claras que contemplen una visión integral de la sociedad y el medioambiente. Leyes como la 25.831 que establece el libre acceso a la información pública, no se aplica en toda su extensión, debido a los engorrosos y burocráticos procedimientos que comprenden la búsqueda. Por otro lado, algunas leyes son poco determinantes; esto da lugar a interpretaciones ambiguas y si bien existe *analogías* con el objeto de evitar la proliferación de interpretaciones, estas formas muchas veces se vuelven muy crípticas. En definitiva, los principales problemas no se desprenden del articulado, sino de la implementación de forma consciente y responsable de dicha normativa, responsabilida que recae en las autoridades en ejercicio.

En conclusión, el principal aspecto que se debe atender es la implementación correcta de las leyes vigentes junto a un plan nacional de educación ambiental integral, adecuado a cada región y que contemple todas las generaciones. Esto, no sólo elevaría la calidad de discusión de los actores competentes en la materia, sino que también contribuiría a la formación de sujetos conscientes y críticos. En este sentido, *“Estamos convencidos de que, para lograr un justo equilibrio entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de las generaciones presentes y futuras, es necesario promover la armonía con la naturaleza”*

“Reconocemos que el planeta Tierra y sus ecosistemas son nuestro hogar” y *“Madre Tierra”* son expresiones que se alejan del antropocentrismo y han empezado a permear el campo jurídico desde hace ya algunos años a punto tal de reconocer a la naturaleza como sujeto de derecho, tal y como lo expresa la Constitución del Ecuador. En Bolivia en el año 2010 se sancionó la Ley de Derechos de la Madre Tierra N° 071. En 2012 se sancionó la Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien que da cuenta de una revisión y reconstrucción del lazo entre el humano y la pachamama.

Bibliografía

Código Civil, artículo 2340.

Constitución Nacional, artículo 41.

Decreto ley 191/01 de la Provincia de Corrientes.

Decreto Ley 8912/77 de la Provincia de Buenos Aires.

Gudynas, E. (2004). Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible. Montevideo.

Ley 11723 de la Provincia de Buenos Aires.

Ley 11964 de la Provincia de Buenos Aires.

Ley 12247 de la Provincia de Buenos Aires.

Ley 12257, Código de aguas de la Provincia de Buenos Aires.

Ley 25.831, Régimen de libre acceso a la información pública.

Ley 25675, Ley General de Medio Ambiente.

Ley 2952 de la Provincia de Rio Negro.

Ley 5589 de la Provincia de Córdoba.

Ley 5965 de la Provincia de Buenos Aires.

Ley 7070 de la Provincia de Salta.

Ley 8553 de la Provincia de Buenos Aires.

MAPAMA (1986) Delimitación del Dominio Público Hidráulico: el Proyecto Linde. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente de España. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/delimitacion-dph-proyecto-linde/>

Melbourne Water (2017). Melbourne Water 101. *Who we are, what we do and who we work with*. Australia: Victoria State Government. Disponible en: file:///D:/Users/Pedro_Carrquiriborde/Documents/My%20Files/Informacion%20Academica-Cientifi-ca/Docencia/Publicaciones/Libros%20de%20Cátedra/2016/Bibliografia/CAP07/Melbourne-Water-101.pdf

Ordenanza 10703/10 de la Municipalidad de La Plata.

CAPÍTULO 8

Integración de las problemáticas vinculadas a la urbanización de cuencas hídricas

Pedro Carriquiriborde

El 2 de abril de 2013 un evento meteorológico extremo, casi 400 ml de precipitación pluvial en sólo 4 horas, condujeron al desborde de los cauces e inundación de amplias zonas de la cuenca del Arroyo del Gato y el Arroyo Maldonado, del Gran La Plata. Las consecuencias fueron extremadamente graves si se consideran las pérdidas materiales y humanas. El impacto sobre la ciudad de La Plata ha sido tan fuerte que la presión de la opinión pública forzó a dar respuestas de lo ocurrido y muchos estudios fueron demandados con posterioridad por la sociedad. Entre ellos, el Proyecto de Investigación Orientado (PIO) financiado por la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), titulado *Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada: análisis de riesgo, estrategias de intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental* dirigido por la Dra. Alicia Ronco y del que participaron 10 unidades académicas de la UNLP. La impronta que ha dejado la inundación del 2 de abril en el ciudadano platense ha sido tan marcada que tres años después los estudiantes de la asignatura Ecosistemas & Sociedad lo han escogido unánimemente como caso-ejemplo de investigación, dando origen a los diferentes capítulos de este libro.

La inundación ha sido tomada como disparador para abordar un tema más amplio y complejo que es el uso del territorio en las cuencas hídricas, y en particular asociado a los procesos de urbanización. Ésta es una problemática compleja que puede ser abordada desde diferentes puntos de vista. En este libro haremos foco, por un lado, en las cuencas hídricas como unidades naturales que albergan diferentes ecosistemas y por otro, en cómo las urbanizaciones alteran los dichos ecosistemas mediante cambios en los ciclos de la materia y la energía, repercutiendo negativamente sobre la naturaleza y sobre el hombre.

De las temáticas tratadas en los diferentes capítulos del libro

El Capítulo 1 comienza realizando una descripción de las características físicas de la cuenca del Arroyo del Gato y del Arroyo El Pescado y luego analiza la evolución del uso del suelo a

través del tiempo. La recopilación realizada muestra que la urbanización formal e informal ha avanzado sobre la planicie de inundación de las cuencas, muy marcadamente en la cuenca del Arroyo del Gato y de forma más incipiente, pero no menos preocupante, en la del Arroyo El Pescado. A su vez, el trabajo pone de manifiesto que este proceso ha evolucionado sin ningún tipo de restricciones por parte de las autoridades competentes, facilitando lo que podríamos denominar **urbanización sin planificación**. En este sentido, la Arq. Isabel López refiriéndose al Gran La Plata:

“...los débiles procesos de planificación urbana no basados en la división territorial por cuencas como unidad de gestión; el amplio impulso a la actividad inmobiliaria que se ha dado en las últimas décadas con ocupación intensiva y extensiva indiscriminada y de fuertes contrastes sociales...” (López y Ríos, 2015)

A éstas palabra se agrega luego:

“...en el marco de una planificación territorial básicamente normativa y sectorial...” (López y Ríos, 2015)

Quizá deberíamos sumar a los intereses económicos (inmobiliarios) mencionados, los intereses políticos (clientelismo). La urbanización de las cuencas en la región ha sido un proceso no planificado, dirigido simplemente por el oportunismo y los intereses de determinados sectores, y así han sido las consecuencias.

Como se desprende del Capítulo 7, ello no ha sido producto de una legislación deficiente, sino más bien producto del incumplimiento u omisión de la legislación existente. Desde hace más de cuarenta años en nuestro país se contempla la idea de un desarrollo planificado sobre la base del ordenamiento territorial (Ej. Decreto Ley 8912/77). El **Ordenamiento Territorial** ha sido definido por el MAGyP (2012) como un proceso político-técnico-administrativo orientado a la organización, planificación y gestión del uso y ocupación del territorio en función de las características biofísicas, culturales, socioeconómicas y político-institucionales. El mismo debe ser participativo, interactivo e iterativo y basarse en objetivos explícitos que propicien el uso inteligente y justo del territorio, aprovechando oportunidades, reduciendo riesgos, protegiendo los recursos en el corto, mediano y largo plazo y repartiendo de forma racional los costos y beneficios del uso territorial entre los usuarios del mismo.

Como puede verse es un tema complejo, multidimensional y multidisciplinar. Con una mirada desde los ecosistemas, como la que ofrece este libro, pondremos mayor acento en el medio biofísico. En tal sentido, el concepto de **aptitud ecológica del territorio** surge como un criterio básico en el ordenamiento. El punto de partida de dicho ordenamiento son las unidades ecológicas del territorio. En base a ellas se establecen cuáles son las áreas óptimas para cada uso del suelo que demanda la sociedad. Ello contrasta con el pensamiento de muchos colegas que provienen de las ciencias sociales donde los aspectos histórico-culturales y económico-sociales debieran ser los que demarquen el territorio. Lo que sucede con este tipo de planteos es que hace sólo algunas décadas que nos hemos dado cuenta que el planeta es finito, que sus recur-

esos son limitados y que debemos hacer un uso sustentable de los mismos para poder perdurar como especie sobre la tierra.

La ciudad de La Plata, es considerada un ejemplo desde el punto de vista arquitectónico, ícono de la planificación urbana a nivel mundial. Desde lo racional, el diseño del Ing. Pedro Benoit, es sin duda admirable. Sin embargo, con una mirada actual desde un punto de vista ecológico, se podrían identificar varias deficiencias. Una forma geométrica rígida sobre un terreno ondulante refleja el pensamiento de la época. El hombre por sobre la naturaleza y no con la naturaleza. Hoy día, el diseño de la ciudad probablemente buscaría acompañar las curvas de nivel del terreno, emplazando los reconocidos espacios verdes como el Bosque, los parques y las plazas de la ciudad; corriendo por los brazos del arroyo Pérez, Regimiento y del Zoológico y los ejes administrativos, densamente poblados y de sistemas de transporte guiados por los interfluvios e interconectados por hermosos puentes. Por supuesto que nadie pensaría hoy en rediseñar el tejido urbano de La Plata dado su valor cultural e histórico; pero sí podrían incorporarse conceptos ecológicos a las nuevas áreas de desarrollo o bajar la densidad de construcción. Con el mayor respeto al padre del urbanismo, Hipódamo de Mileto, pareciera ya ser tiempo de abandonar el diseño ortogonal o en damero y permitir a la naturaleza que nos guíe.

Una ciudad, atravesada por cursos de agua y parque en sus planicies de inundación seguramente disminuiría la formación de las islas de calor mencionadas en el Capítulo 2. Estos fenómenos micro-climáticos que se generan en las urbes masivas, causan trastornos no sólo para el confort y salud de los seres humanos, sino también relacionados a un aumento del consumo de energía y su contribución al cambio climático. Por otro lado, si bien existen algunos estudios que parecieran indicar que las islas de calor pueden modificar el régimen pluviométrico, supresión de precipitaciones en épocas de seca y el aumento de su violencia durante las tormentas, aún existen muy pocos datos que permiten tener una definición clara al respecto y saber con certeza si son capaces de desencadenar precipitaciones como la del 2 de abril. Aunque se han desarrollado soluciones tecnológicas sumamente interesantes y estéticamente agradables, como los techos verdes, el conservar los causes originales y sus planicies de inundación como áreas verdes, contribuye a minimizar el efecto mencionado y simultáneamente permite disfrutar de espacios al aire libre con un costo mucho menor y con una mayor armonía con el funcionamiento natural del ecosistema.

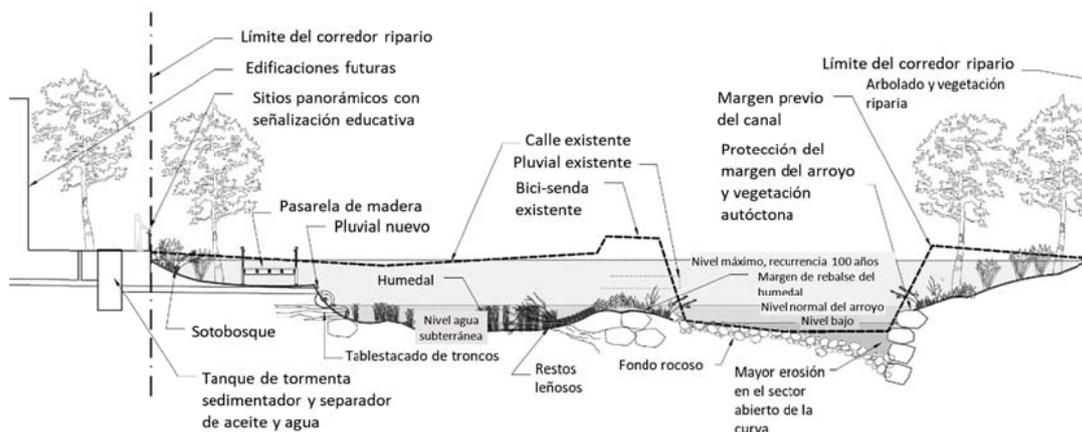
Al respecto, como se trata en el Capítulo 3, mantener las planicies de inundación libres reduciría el impacto sobre el ciclo del agua en la cuenca. Las áreas verdes a los lados de los arroyos amortiguarían la escorrentía proveniente de la zona urbanizada en el interfluvio y contribuiría a aumentar la infiltración y la evapotranspiración por la vegetación. Ello reduciría los picos de crecidas durante las lluvias y permitiría la recarga de los acuíferos que evitarían que el arroyo se quede sin agua durante estaciones secas. Por fuera de la planicie de inundación, resulta importante detectar también las áreas de suelos permeables de recarga del acuífero para destinar las mismas a parques o áreas residenciales de baja densidad con jardines y evitar actividades que sean potencialmente contaminantes. En aquellas zonas fuera de la planicie

de inundación que además posean suelos naturalmente impermeables, o poco drenados, serán las más aptas para los desarrollos urbanos de alta densidad poblacional. En éstas áreas, contar con soluciones tecnológicas como los sistemas de drenaje urbanos sustentables (SUDS), cómo las descritas en el Capítulo 5, ayudará a retener el agua minimizando las escorrentías y dirigir las a sectores naturalmente bien drenados.

Todo esto evitaría costosísimas obras de infraestructura como son la canalización de los arroyos, tema tratado en el Capítulo 4. Desde una mirada ecológica, puede considerarse a la canalización de los arroyos como el equivalente a la cirugía en la medicina, el fracaso de la prevención y el mejor indicio de que todo lo que debía haberse hecho, no se hizo o fue mal hecho. En 2015, la Cámara de Senadores de la Provincia de Buenos Aires aprobó casi \$ 2000 millones de endeudamiento para las obras hidráulicas para el Arroyo del Gato (MI-ySP-PBA, 2015). Estos fondos podrían haberse destinado a otras áreas como vivienda (6000 viviendas 44 m² FONAVI; CPAyPA, 2015), salud (4 hospitales como el de Santa Fe, 21.000 m²; Apertura, 2016) o educación (400 escuelas como la secundaria de Altos de San Lorenzo; PBA, 2012), de haberse llevado a cabo el proceso de urbanizado aplicando criterios ecológicamente compatibles. Además, es sabido que las canalizaciones *matan* al arroyo como ecosistema y no pueden garantizar al 100% que un día no serán insuficientes. En caso de verse sobrepasados, los estragos serían aún peores ya que las velocidades de las corrientes son mucho mayores que en el curso natural. Los sedimentos naturales de los arroyos cumplen una función importante en la retención y depuración de los contaminantes que hasta él llegan. De este modo, luego de lluvias fuertes los contaminantes que arrastran las escorrentías no pueden ser retenidos y degradados dada la ausencia de sedimentos en los canales revestidos. Ello podría ser causa de muerte masiva de peces y otros organismos acuáticos como las ocurridas recientemente en el Río Santiago, desembocadura del Arroyo del Gato (El Día, 2018).

Como se mencionó en el Capítulo 4, la restauración ecológica de la planicie de inundación del Arroyo del Gato hubiera sido una alternativa eficaz, de haber tenido mayor experiencia en la temática: dejando restringida la canalización -junto a un sistema de retención y reservorios subterráneo- a los derivadores del arroyo Pérez y Regimiento. En la Figura 1, se muestra una sección del Río Ogden en Utah (USA), mostrando el plan de restauración dónde se destaca la eliminación del corte trapezoidal previamente construido en su canalización, la demarcación de la planicie de inundación con una recurrencia de 100 años, la construcción de humedales (wetlands) que reciben las aguas de tormenta luego de pasar por tanques de decantación y separación de aceites, la restauración de la vegetación riparia, y la restauración del curso y el fondo.

Figura 1. Sección representativa de la restauración del Río Ogden (Utah, USA) con los desagües pluviales desembocando en un humedal (Fuente: modificado de Dunnett Design Group, Inc., www.RiverRestoration.org)



Simultáneamente, se debiera haber impulsado una fuerte campaña para desurbanizar gradualmente la planicie, en principio inhabilitando cualquier otra construcción en la misma y luego estimulando la relocalización de las viviendas y la reconversión a áreas de recreación mediante inversiones público/privada. Para ello se necesita una clara demarcación previa, sobre bases hidrológicas, de la planicie de inundación y de la zona de delimitación para tal uso. Tal criterio ha sido utilizado en el ya mencionado Delimitación del Dominio Público Hidráulico: Proyecto Linde, llevada a cabo en España. Muy por el contrario, el Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires como respuesta de relocalización, erigió un barrio de más de 400 viviendas a menos de 100 m del curso del arroyo, en un área que se hallaba completamente despoblada. Hecho increíblemente absurdo bajo la luz del conocimiento actual.

En éste sentido, resulta sorprendente cómo las propuestas presentadas por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP: “Repensar La Plata: Ideas para la Cuenca del Arroyo del Gato. Una mirada al concurso de estudiantes” (López y Ríos 2015), son ampliamente superadoras a las que brindaron los organismos públicos, los cuales adoptaron soluciones anacrónicas, mostrando la necesidad de mejorar la calidad técnica de los agentes públicos mediante el establecimiento de un sistema de formación y evaluación continua. En particular, es pertinente destacar las propuestas del Tercer Premio en la Categoría Territorial y el Segundo Premio en la Categoría Urbana Arquitectónica. La primera, de la Universidad Nacional de Mar del Plata, resulta interesante en cuanto a que es la única que realiza, si bien de un modo muy básico, un análisis del funcionamiento del ecosistema. La segunda, de la UNLP, por contemplar la necesidad de recuperar las áreas verdes mediante un plan de intervención y reubicación de asentamientos urbanos.

En el Capítulo 5 se mostró que las escorrentías urbanas son una importante fuente de contaminación difusa que deteriora la calidad de las aguas superficiales. La amortiguación de las mismas manteniendo la planicie de inundación vegetada, no sólo aumentaría la infiltración y recarga del acuífero, sino que también, reduciría la llegada de contaminantes al arroyo protegiendo la calidad de sus aguas. Ello no sólo protegería los recursos vivos y la diversidad biológica

gica del arroyo, sino que permitiría un uso recreativo (ej. pesca, camping, canotaje, etc.). De todos modos, contar con SUDS y tanques de tormenta en el área urbanizada sería de gran ayuda para retener el agua y permitir la decantación de los sedimentos y la separación aguas y aceites, reduciendo la carga de contaminantes que llegan al arroyo.

Asociado a esto, en el Capítulo 6, se tratan las fuentes de contaminación puntuales como desagües cloacales e industriales. El capítulo muestra con claridad que los niveles de coliformes y otros contaminantes medidos en el arroyo indican que actualmente el curso de agua es prácticamente una cloaca a cielo abierto. Para recuperar la calidad del agua es indispensable que dichos efluentes sean tratados previamente a su descarga. Para ello contar con una red cloacal y plantas de tratamiento adecuadas es indispensable para que los efluentes lleguen al arroyo cumpliendo los parámetros de vuelco establecidos en la normativa. Además, resultaría esencial, determinar los niveles guía de calidad adecuados para la protección de la vida acuática del arroyo, en particular. En el capítulo se muestra además que muchos contaminantes que se vierten con los desagües cloacales, denominados emergentes, no sólo aún no están regulados por la normativa, sino que por lo general las plantas de tratamiento convencionales no logran eliminarlos con un 100% de eficacia. Por consiguiente, se deberán evaluar alternativas para ello, pero ciertamente, el problema del Arroyo del Gato es actualmente tan grave que estos micro-contaminantes parecieran quedar relegados para etapas más avanzadas.

Finalmente, en el Capítulo 7, se hace una revisión de la legislación nacional, provincial y municipal relacionada con la gestión ambiental, el ordenamiento del territorio y la protección de los recursos hídricos. Es de destacar que la Argentina tiene un cuerpo normativo bastante abundante y moderno. Existe normativa sobre aspectos generales de gestión ambiental, ordenamiento territorial, uso de los recursos naturales, residuos y sustancias contaminantes. El problema es que en la mayoría de los casos no se cumple y no hay penalizaciones por ello, ni para quien no la cumple, ni para quien no la hace cumplir.

Un caso especialmente preocupante y que se introdujo en el Capítulo 1, es el del Arroyo El Pescado que, pese a contar con una normativa provincial (año 1999) y otra municipal (año 2016) que específicamente lo declaran paisaje protegido de interés, se está observando el desarrollo de áreas urbanizadas dentro de la planicie de inundación. Pareciera como si las lecciones recibidas del Arroyo del Gato no hubiesen sido suficientes para tomar medidas al respecto. En la Figura 2, se muestran imágenes satelitales del año 2016 y del 2017 que evidencian como en el tramo medio del arroyo se ha habilitado un barrio dentro de la planicie de inundación del Arroyo El Pescado con uno de los vértices del mismo a menos de 100 metros del arroyo. Este caso nos muestra que no se está cumpliendo con la normativa vigente. En tal sentido, la justicia debiera haber investigado el caso y de no cumplirse la misma establecer las responsabilidades y sanciones a los funcionarios públicos que lo autorizaron. Además, si se hubiese elaborado y presentado el estudio de impacto ambiental, según establece la norma, también debería haberse evaluado la negligencia de los profesionales intervinientes (por todos los argumentos presentados en éste libro, el estudio debería advertir de la inaptitud del área para la construcción de viviendas).



Figura 2: Imágenes satelitales de 2007 (izquierda) y 2017 (derecha) del sector medio de la cuenca del “Arroyo El Pescado” mostrando el peligroso avance de las urbanizaciones sobre la planicie de inundación del mismo pese a ser éste considerado paisaje protegido de interés tanto a nivel provincial como municipal (Fuente: elaboración propia sobre imagen Google Earth).

Conclusiones

A modo de cierre, resulta relevante retomar el título utilizado por las Arq. López y Ríos (2015) en su concurso para estudiantes. Surge como primera conclusión de los capítulos del libro la necesidad de *repensar* la forma en que interactuamos con la naturaleza, buscando aquellas alternativas que satisfagan nuestras necesidades como seres humanos, pero optimizando la utilización de los sistemas naturales, minimizando su transformación y entendiendo que mejorar nuestra calidad de vida lleva implícito proteger la naturaleza. Debemos comprender que si la destruimos estamos comprometiendo nuestro bienestar y que las soluciones tecnológicas pueden brindar soluciones, pero que son parciales y que, aunque parecieran ser completamente adecuadas, sólo es porque generalmente no internalizan todos los costos ambientales asociados.

En tal sentido, basar los planes de ordenamiento territorial sobre la aptitud ecológica del territorio es un concepto central para minimizar las modificaciones y los impactos en los ecosistemas. Ello reduce además los costos durante su ejecución dado que requiere mínima intervención del territorio y evita luego medidas de mitigación y remediación de los problemas que, tarde o temprano, ellas causan sobre el equilibrio natural del sistema.

En casos como el de Arroyo del Gato, se deben buscar alternativas que igualmente tiendan al desarrollo sostenible. Actualmente, en países europeos se están desarrollando herramientas que apuntan a recuperar el funcionamiento natural de los ecosistemas y debemos aprovechar a aprender de ello para evitar cometer las mismas equivocaciones. Programas como los de restauración ecológica de los ríos son centrales tanto en Europa como en Norteamérica desde hace más de diez años (Everard, 2004; Bernhardt y col., 2005), además, de soluciones tecnológicas amigables con el ambiente como los ya mencionados techos verdes y los SUDS.

Como puede verse, mucho conocimiento se ha generado desde el sector científico-académico, a nivel nacional e internacional. Sin embargo, el mismo es inútil mientras las decisiones antepongan intereses político-económico sectoriales; los funcionarios públicos y los profesionales no estén formados técnicamente y carezcan de los valores éticos que estén a la altura de las circunstancias; y la población no esté informada y educada debidamente para comprender el alcance de los problemas.

Se espera que éste libro sirva de estímulo para nuevos profesionales que deseen incorporar la dimensión ecológica para resolver los conflictos que se establecen al momento de ordenar el territorio, establecer usos del suelo o resolver problemas ambientales en las cuencas hídricas. A su vez, transmitirles la idea de la necesidad de mantener el conocimiento actualizado mediante la formación continua y abordar la temática siempre a través del trabajo en grupos multidisciplinarios.

Bibliografía

- Apertura (2016). Con los \$ 2500 millones de Fútbol para Todos se pueden hacer tres clínicas de alta complejidad. Apertura.com 19 de Julio 2016. <http://www.apertura.com/negocios/Con-los--2500-millones-de-Futbol-para-Todos-se-pueden-hacer-tres-clinicas-alta-complejidad-20160719-0006.html>
- Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Shah, J., Galat, D., Gloss, S., Goodwin, P., Hart, D., Hassett, B., Jenkinson, R., Katz, S., Kondolf, G.M., Lake, P.S., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Powell, B., Sudduth, E., 2005. Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science* 308, 636-637.
- CPAyPA (2015). Costos de la Construcción Archivo 2015. Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesionales Afines. <http://www.copaipa.org.ar/costos-de-la-construccion/>
- El Día (2018). Alarma por mortandad de peces en el Río Santiago: apuntan a la contaminación del Arroyo del Gato. Diario El Día 19 de marzo de 2018. <https://www.eldia.com/nota/2018-3-19-12-9-0-video---alarma-por-mortandad-de-peces-en-el-rio-santiago-apuntan-a-la-contaminacion-del-arroyo-del-gato-la-ciudad>.
- Everard, M., 2004. Investing in sustainable catchments. *Science of The Total Environment* 324, 1-24

- López, I., & Ríos, L. (2015). Repensar La Plata: Ideas para la Cuenca del Arroyo del Gato. Una mirada al concurso de estudiantes. 1ra ed. - La Plata: EDULP. 74 p.
- MAGyP (2012). Bases para el Ordenamiento del Territorio Rural Argentino. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación. Buenos Aires, 23 p.
- MlySP-PBA (2015). Obras en la región capital. Informe de Obras. Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas. Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires, www.mosp.gba.gov.ar/sitios/agato/imforme_obras.pdf
- PBA (2012). Construcción de la escuela secundaria a/c de la localidad de Altos de San Lorenzo/distrito de la plata. Licitación pública - DGCE - Unidad Ejecutora Provincial. Provincia de Buenos Aires. <http://sistemas.gba.gov.ar/consulta/contrataciones/>

Los Autores

Coordinadores

Pedro Carriquiriborde

Dr. en Ciencias Naturales y Lic. en Biología (Zoología) por la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata (FCNyM-UNLP). Profesor Adjunto de la asignatura Biología y Jefe de Trabajos Prácticos en las asignaturas de Ecotoxicología y Evaluación de Riesgo y Ecosistemas y Sociedad de la Facultad de Ciencias Exactas (FCE-UNLP). Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Nación (CONICET) y Docente Investigador Categoría III del Programa de Incentivos a Docentes Investigadores del Ministerio de Educación de la Nación. Es autor de más de treinta publicaciones científicas en revistas de alcance internacional, capítulos de libros, normas de calidad y publicaciones de divulgación científica. Ha contribuido a la formación de recursos humanos y ha asistido a diferentes instituciones públicas y privadas en temas de contaminación ambiental. Ha sido Miembro del Consejo Directivo Mundial y Presidente de la Rama Latinoamericana de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC).

Alicia Estela Ronco

Dra. en Ciencias Naturales y Lic. en Geoquímica por la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de la Plata (FCNyM-UNLP). Profesora Asociada de las asignaturas Introducción a las Ciencias Ambientales, Ecotoxicología y Evaluación de Riesgo y Ecosistemas y Sociedad Facultad de Ciencias Exactas (FCE-UNLP). Investigadora Principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Nación (CONICET) y Docente Investigador Categoría I del Programa de Incentivos a Docentes Investigadores del Ministerio de Educación de la Nación. Posee una extensa trayectoria en investigación científica en temas vinculados a la Química Ambiental, Ecotoxicología y Evaluación de Riesgo Ecológico, siendo autora de más de un centenar de publicaciones en revistas científicas de alcance internacional, capítulos de libros, normas de calidad y artículos de divulgación. Ha desarrollado una extensa labor en la formación de Recursos Humanos en su área de estudio y ha brindado asistencia técnica de alto nivel a diferentes instituciones públicas y privadas. Ha asistido a la justicia en pericias vinculadas a problemas de contaminación ambiental.

Autores

María Emilia Arruti

Estudiante de la Licenciatura de Química y Tecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de la Plata (FCE-UNLP). Integrante del Proyecto de Extensión Universitaria del área temática, ambiente, producción del hábitat y derecho a la ciudad, en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

Bruno Federico Caram

Licenciado en Química por la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata (FCE-UNLP). Becario Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Nación (CONICET), con lugar de trabajo en el Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA). Ayudante Diplomado de la asignatura Cinética Química (FCE-UNLP). Ha publicado en *Chemosphere* (2018), *Applied Catalysis B: Environmental* (2015) y *Revista de Ciencia y Tecnología* (2013).

Luisina Dorsi

Arquitecta y estudiante de la Maestría en Paisaje, Medio Ambiente y Ciudad de la Facultad de Arquitectura y Urbanismos de la Universidad Nacional de la Plata (FAU-UNLP). Becaria en investigación científica FAU-UNLP (2015) con el tema "Procesos de expansión urbana e instrumentos de regulación ambiental sobre cuencas hídricas". Ayudante del Curso de Ingreso 2014 FAU-UNLP. Participación en proyectos de investigación (2014-2015). Se desempeña profesionalmente en consultorías de sistemas de información geográfica (Aeroterra S.A.) y de estudios hidráulicos e impacto ambiental (SERMAN & Asociados S.A). Posee una publicación en el XIX Congreso Arquisur 2015.

José María Martocci

Abogado por la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad Nacional de la Plata (FCJyS-UNLP). Docente de Derechos Humanos. Director de la Clínica Jurídica en Derechos Humanos de la FCJS-UNLP. Integrante del Programa de Extensión Universitaria *Clínica Jurídica*.

Darío Moyano

Estudiante de la Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas (FCE-UNLP).

Macarena Gisele Rojo

Estudiante de Doctorado y Licenciada en Química y Tecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas (FCE-UNLP). Becaria doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Nación (CONICET).

Nicolás Ronco

Licenciado en Química y Estudiante del Doctorado de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata (FCE-UNLP). Becario Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Nación (CONICET) con lugar de trabajo en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Métodos Analíticos (LIDMA, FCE, UNLP). Ayudante Diplomado en la asignatura Fisicoquímica y Química Analítica Instrumental (FCE-UNLP). Ha publicado en el *Journal of Chromatography A* (2016 y 2017) y participa del Programa de Extensión Universitaria *Análisis de Potabilidad de Aguas* (FCE-UNLP).

Ivana Stoeff Belkenoff Estudiante de la Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas (FCE-UNLP).

María Florencia Vechiati

Abogada, especialista en Derecho Administrativo, por Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de Universidad Nacional de La Plata (FCJyS-UNLP). Estudiante de la especialización en Derecho Ambiental, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de Buenos Aires (UBA). Actividad profesional independiente, Docencia universitaria en la UNLP y Universidad el Este. Integrante del Programa de Extensión Universitaria *Clínica Jurídica*. Miembro del Instituto de Derecho Ambiental del Colegio de Abogados de La Plata.

María Florencia Yorlano

Licenciada en Química y Tecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas (FCE-UNLP).

Ecosistemas y sociedad : impactos de las urbanizaciones sobre las cuencas hídricas / Pedro Carriquiriborde... [et al.] ; coordinación general de Alicia Estela Ronco; Pedro Carriquiriborde. - 1a ed . - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; La Plata : EDULP, 2019.
Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-950-34-1780-5

1. Recursos Hídricos. 2. Urbanización. 3. Impacto Ambiental. I. Carriquiriborde, Pedro, coord.
II. Ronco, Alicia Estela, coord.
CDD 577.1

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
47 N.º 380 / La Plata B1900AJP / Buenos Aires, Argentina
+54 221 427 3992 / 427 4898
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2019
ISBN 978-950-34-1780-5
© 2019 - Edulp

e
exactas