

AMÉRICA LATINA Y ARGENTINA. ASPECTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y LOS RECURSOS HÍDRICOS

Cátedra: Recursos Hídricos III

Autores: Riccardi Gerardo
 Postiglione Raul
 Stenta Hernán
 Scuderi Carlos

Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario

Rosario, Agosto de 2011

ÍNDICE

- 1.1 CONTEXTO MUNDIAL Y REGIONAL CONTINENTAL**
 - 1.1.1 Contexto Mundial**
 - 1.1.2 América del Sur**
 - 1.1.2.1 Aspectos Sociales y Económicos**
 - 1.1.2.2 Recursos Hídricos**
 - 1.1.2.3 Aridez en América del Sur**
 - 1.1.2.4 El Clima y las Precipitaciones**
 - 1.1.2.5 Las Aguas Superficiales**
 - 1.1.2.6 Recursos Hídricos Subterráneos**
 - 1.1.2.7 La Gestión de los Recursos Hídricos**
- 1.2 SÍNTESIS DE ASPECTOS FÍSICOS Y DEL CLIMA EN ARGENTINA**
- 1.3 ASPECTOS DEL PROCESO DE URBANIZACIÓN EN ARGENTINA**
- 1.4 INUNDACIONES URBANAS**
 - 1.4.1 Cuencas Urbanas**
 - 1.4.2 Tratamiento típico del problema de las inundaciones urbanas**
 - 1.4.3 Urbanización e Impacto sobre el Medio Ambiente Natural**
 - 1.4.3.1 Aumento del Riesgo de Inundación**
 - 1.4.3.2 Decrecimiento de la Calidad del Agua Superficial y Subterránea**
 - 1.4.3.3 Incremento de Procesos de Erosión-Sedimentación**
- 1.5 EVOLUCIÓN DEL DRENAJE URBANO EN ARGENTINA**
 - 1.5.1 Etapa del concepto sanitarista**
 - 1.5.2 Etapa de racionalización de los cálculos y de normatización de los estudios y proyectos**
 - 1.5.3 La etapa del enfoque científico y ambientalista del drenaje urbano**
- 1.6 SÍNTESIS DE CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA PROBLEMÁTICA DE LAS INUNDACIONES URBANAS EN ARGENTINA**
 - 1.6.1 Ciudades localizadas sobre las márgenes del río Paraná**
 - 1.6.2 Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense**
 - 1.6.3 Área central del país**
 - 1.6.4 Región árida y semiárida**
 - 1.6.5 Otras partes del país**
- 1.7 NECESIDAD DE UNA AMPLIACIÓN EN EL ENFOQUE DE LA GESTIÓN DE LAS INUNDACIONES URBANAS**
 - 1.7.1 Necesidad de una Nueva Visión**
 - 1.7.2 Conceptos Básicos Recomendados**
 - 1.7.3 El Modelo de Planificación y Gestión Participativa**
 - 1.7.3 Metodología tentativa de la Gestión**
- 1.8 BIBLIOGRAFÍA**

PROBLEMÁTICA DE LAS INUNDACIONES URBANAS

La población mundial a través del tiempo se ha ido concentrando en ciudades. En el año 1800 solo el 1 % de la población vivía en ciudades. Desde mediados del siglo XVIII, donde se expandiera como efecto asociado a la revolución industrial, la urbanización se ha incrementado a nivel mundial a un ritmo cada vez más acelerado. En el inicio del siglo XX, la población urbana se componía de aproximadamente un 15% de la población mundial, en tanto que para el comienzo del siglo XXI se compone del 47%.

Este proceso es más acelerado en los países en vías de desarrollo. En América del Sur la concentración de población en ciudades alcanza el 77% en continuo incremento y es la región continental con mayor aglomeración de población en ciudades. La aceleración de los procesos de urbanización en la región se da a partir de la década del 60 cuando la población urbana era aproximadamente el 50% de la total. En los países desarrollados, estos procesos son más estables.

Argentina, presenta a lo largo de las últimas décadas un crecimiento significativo, siendo el país con mayor concentración urbana de la región continental, la población urbana alcanza el 90%. Los efectos de tales procesos de crecimiento urbano se han hecho sentir sobre todo en el complejo urbano relacionado a los recursos hídricos: abastecimiento de agua, recolección y tratamiento de aguas cloacales y drenaje pluvial. El aumento de la población urbana en los países del 3er. mundo se ha dado por el crecimiento natural de su población y por fuertes procesos migratorios provocados por el éxodo rural. Para poder comprender la problemática en su real magnitud es de suma importancia indagar acerca de los motivos de los procesos migratorios hacia las ciudades. En una primer etapa la migración estuvo relacionada a la industrialización del continente, la búsqueda de mejoramiento de calidad de vida (salud, vivienda, educación), mejores empleos, etc. En las últimas décadas la migración estuvo directamente relacionada a la búsqueda de condiciones de sobrevivencia, donde grandes contingentes de población empobrecida se establecieron en las periferias de grandes ciudades. Puede verificarse que mientras los indicadores macroeconómicos mostraron que América Latina creció fuertemente en la década del 90, la brecha entre pobres y ricos se amplió en razón de una asimétrica distribución de la riqueza y a la desinversión pública en infraestructura debido a fuertes condicionantes de los presupuestos públicos afectados al pago de abultadas deudas externas. Esto generó gran cantidad de pobres, indigentes, expulsados del mercado laboral que se establecieron en grandes asentamientos urbanos, mayormente en terrenos con alto riesgo de inundación, sin infraestructura sanitaria y en condiciones de vida extremadamente deterioradas.

Resulta de suma importancia tener en claro la problemática global puesto que ello condicionará el abordaje de la solución. Tanto los técnicos, autoridades gubernamentales, científicos, etc. debemos comprender que si bien la problemática amerita soluciones técnicas, nada alcanzará si el abordaje no comprende decisiones políticas que influyan sobre el ordenamiento social y económico de la región.

Por su parte las inundaciones constituyen uno de los más grandes flagelos de la humanidad produciendo la mayor cantidad de pérdidas de vidas humanas y materiales que otros desastres naturales (huracanes, terremotos, etc). Según Lopardo y Seoane (2000) un 58% de las víctimas por desastres naturales en el mundo y el 33% de las pérdidas materiales se deben a inundaciones. Las inundaciones urbanas dentro de las inundaciones en general son las que están directamente relacionadas con la pérdida de vidas humanas.

Según datos presentados por Takeuchi (2001) la mayor diferencia observada en las crecidas extremas en países pobres y ricos es que en países pobres además de las pérdidas materiales las inundaciones se llevan vidas humanas (Figura 1.1).

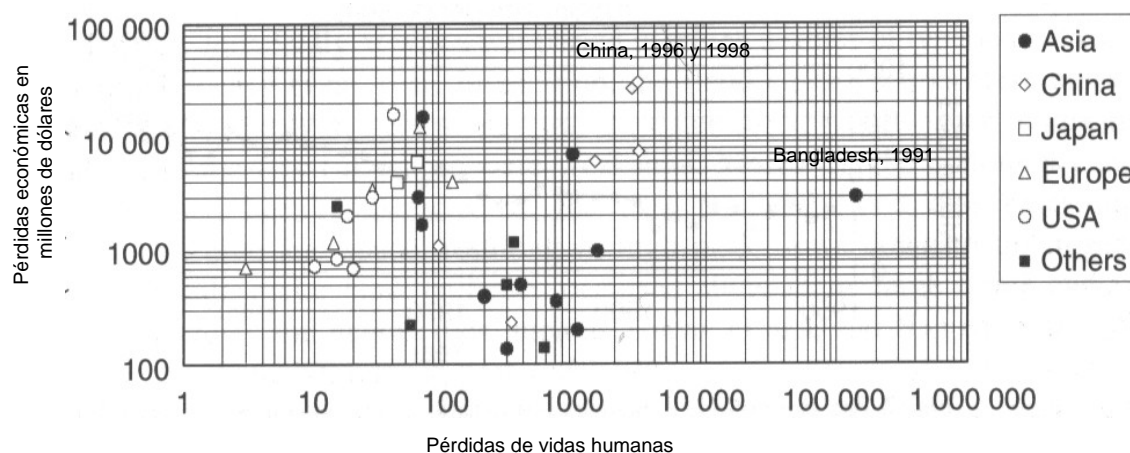


Figura 1.1. Pérdidas por Inundaciones 1990-2000. Fuente: Takeuchi (2001)

Los procesos de concentración de población urbana han contribuido a incrementar las afectaciones de las inundaciones sobre la sociedad. En efecto, los procesos de urbanización han contribuido a (a) aumentar el riesgo de inundación; (b) producir un decrecimiento de la calidad del agua superficial y subterránea; (c) incrementar los procesos de erosión y sedimentación.

El aumento de riesgo de inundación se manifiesta mediante (i) aumento de caudales máximos y volúmenes de escurrimiento en conjunto con la disminución de los tiempos de respuesta de las cuencas debido fundamentalmente al reemplazo gradual de cobertura de suelos naturales por superficies impermeables (calles, techos, etc); y (ii) ocupación paulatina de los valles de inundación de cursos de agua debido a múltiples y complejos factores sociales y económicos como: presiones urbanísticas, expulsión de habitantes del sistema productivo, pobreza, marginalidad, etc.

El decrecimiento de la calidad de agua superficial y subterránea comprende: (i) contaminación de agua de lluvia: ej. lluvia ácida; (ii) lavado de tierras con usos agropecuarios; (iii) arrastre de residuos y desechos urbanos; (iv) deterioros con efectos agudos y acumulativos sobre cuerpos de agua receptores; (v) infiltración de agua con arrastre de contaminantes variados: pesticidas, herbicidas, hidrocarburos, metales pesados, etc.

El incremento de los procesos de erosión y sedimentación a causa de la urbanización puede producir múltiples afectaciones como deterioro de coberturas vegetales de suelos, cambios morfológicos en vías de desagües, cauces navegables y no navegables, erosiones en puentes, alcantarillas, obras de descarga, necesidad de obras de control de erosión, entre otros. Además, todos los procesos erosivos están ligados a procesos de deposición. En muchos casos los sedimentos generados y movilizados se depositan aguas abajo produciendo la pérdida de capacidad hidráulica de los componentes de los sistemas de drenajes mediante taponamientos, obstrucciones, colmataciones, deterioros estructurales etc. Además, los procesos de movilización, deposición, y removilización de sedimentos en sistemas de drenaje es un vehículo sumamente apto para el transporte de contaminantes.

Conocidos los procesos y sus consecuencias es necesario planificar la ocupación del espacio urbano para mitigar de la mayor manera posible los impactos sociales y económicos sobre la sociedad.

En esta capítulo se pretende presentar una visión global del fenómeno de las inundaciones urbanas. En primer lugar se reseña el contexto social, económico y de los recursos hídricos en la región continental, entendiendo como región a América Latina. Posteriormente se describe la problemática concreta de las inundaciones urbanas y por último se presenta un enfoque de la gestión de crecidas en Argentina.

1.1 CONTEXTO MUNDIAL Y REGIONAL CONTINENTAL

1.1.1 Contexto Mundial

La Tabla 1.1 ilustra acerca del crecimiento constante de la población urbana mundial tanto observado como previsto para el período 1955-2015.

Tabla 1.1. Crecimiento anual de la población urbana para el período 1955-2015. Fuente: Fondo de las Naciones Unidas de Asistencia de Población, FNUAP citado por Bertoni et al. (2002).

Crecimiento anual de la población urbana mundial				
Año	1955	1975	1995	2015
[%]	32	38	45	54

El proceso de urbanización se ha manifestado en forma diferenciada en los países industrializados respecto a los países subdesarrollados (en vías de desarrollo o 3er. mundo). Es claro que el período de la industrialización de los países estuvo ligado fuertemente al aceleramiento del crecimiento de las ciudades. Según Guglielmo (1996) (citado por Bertoni, 2002), en la segunda mitad del siglo XIX o según el caso, en la primera mitad del XX, las metrópolis de los países desarrollados registraron una brusca aceleración en su crecimiento demográfico ligado a la industrialización. Por el contrario, el desarrollo industrial en los países menos desarrollados ha sido más fuerte durante la segunda mitad del siglo XX.

Pelletier y Delfante (2000) (citado por Bertoni, 2002) remarcaban también estas diferencias, resaltando que las ciudades del tercer mundo han conocido a partir de mediados del siglo XX un crecimiento explosivo. Durante este período las tasas de crecimiento anual han sido superiores al 3 % en casi todas las grandes metrópolis del tercer mundo, alcanzando en ciertos casos 5 o 6 %. Este ritmo de crecimiento ha comenzado a disminuir recién a partir de 1980. La Figura 1.2 ilustra esta evolución sobre algunas ciudades de Europa y de América. Puede notarse que mientras el gradiente de aumento de población está disminuyendo en New York, París y Londres en San Pablo y Buenos Aires no se observa la desaceleración. Esta tendencia se refleja también en las tasas de crecimiento demográfico observados en distintos países de América y Europa (Tabla 1.2).

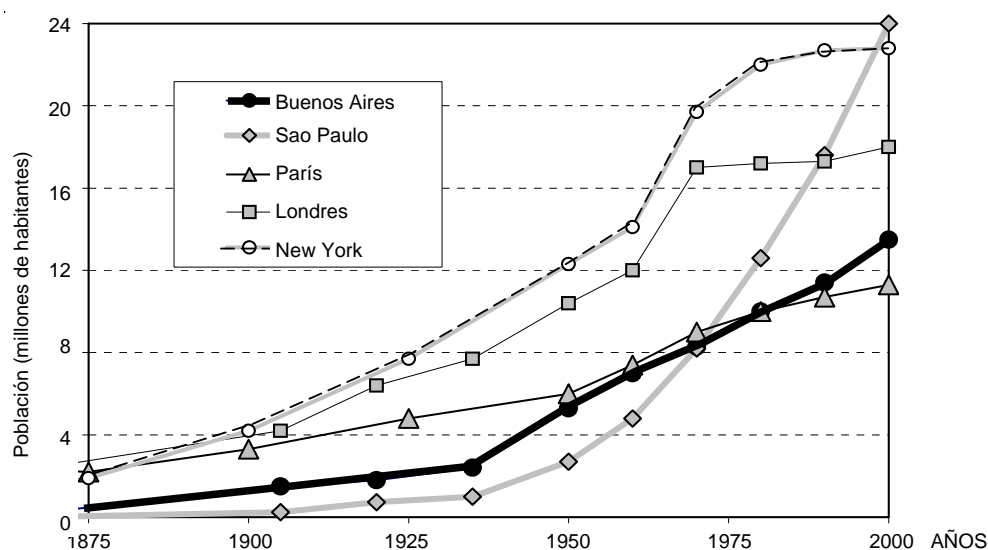


Figura 1.2. Evolución de la población de grandes metrópolis de Europa y de América. Fuentes: Guglielmo (1996) e INDEC (1999) citados por Bertoni (2002)

Del punto de vista demográfico el crecimiento de las ciudades de los países del tercer mundo es debido a dos factores: (i) sostenido aumento del crecimiento natural de su población; (ii) Fuerte inmigración provocada por el éxodo rural.

Es evidente que en todos los casos el crecimiento demográfico de las ciudades es acompañado de una extensión espacial. Actualmente existe una tendencia general a la disminución de la población en los centros de las ciudades. La industria no es más el principal factor de crecimiento de las ciudades, particularmente en las grandes metrópolis. A nivel mundial la primera causa de la baja del empleo industrial sobre el conjunto de las ciudades es la política de descentralización industrial, que concierne a casi todas las metrópolis del mundo. Hacia inicios de los años 90 las grandes metrópolis de América Latina han igualmente adoptado una política de descentralización industrial. Este proceso se realiza a expensas de la urbanización de las áreas periféricas de estas ciudades o bien de ciudades satélites (Bertoni, 2002).

Las principales actividades en las ciudades son ligadas actualmente a las comunicaciones, a los mercados económicos y financieros y a los servicios. Para los países del hemisferio norte también a los polos tecnológicos. Para las grandes metrópolis, los parámetros de su potencialidad están asociadas a la inserción en una red mundial de comunicaciones. Paradójicamente, durante la última década estas actividades han contribuido a reducir la mano de obra (Bertoni, 2002).

En los países de América Latina, el aumento de los barrios periféricos y las ciudades satélites es evidente. La fractura entre los barrios ricos y las regiones marginales pobres tiende a agravarse de año en año. Los barrios de las regiones marginales más pobres son de carácter desordenado, con construcciones no reglamentadas. En la mayoría de los casos son barrios no integrados o sub-integrados del punto de vista socio-económico, con carencia de sistemas de servicios urbanos colectivos (Bertoni, 2002).

Tabla 1.2. Índices demográficos de algunos países de América y de Europa. Fuente: World Development Indicators. World Bank (1998) citado por Bertoni (2002)

Continente	País	Superficie [Km ²]	Población x 10 ⁶ [Hab.]	Densidad de Población [Hab/km ²]	Tasa de Crecimiento Anual	Población Urbana [%]
América	Argentina	2.791.810	35,4	12,67	1,79	90
	Venezuela	912050	21,2	23,24	1,87	87
	Chile	756950	13,9	18,36	1,2	86
	Brasil	8.457.000	159,2	18,83	2,29	79
	Estados Unidos	9.159.000	262,8	28,70	1,21	76
	México	1958200	88,543	45,22	1,90	75
	Colombia	1138910	36,33	31,90	1,66	74
Europa	Francia	550	58,0	105,54	0,26	75
	Reino Unido	242	58,5	242,0	0,33	89
	Alemania	349	81,7	234,0	0,72	87

1.1.2 América del Sur

Nuestra región, América del Sur, conformada por Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela (no se incluye a Surinam, Guyana y la Guayana Francesa) (Figura 1.3), con sus 17850000 km² ocupa el 12% de la superficie terrestre y encabeza la tendencia a concentrar su población en ciudades (Tabla 1.3). La concentración urbana en las principales ciudades de América del Sur tiene el ritmo de crecimiento más alto entre las regiones del mundo y el mayor de todos los tiempos, con una marcada tendencia de concentración de funciones socioeconómicas y administrativas en pocas ciudades importantes por país. Esta propensión metropolitana está ocurriendo en el marco de un crecimiento económico regional importante pero con una distribución de la riqueza cada vez más desigual, lo que conduce a la generación e cordones de asentamientos de población pobre rodeando las ciudades más importantes.

América del Sur es una región sumamente rica en recursos hídricos aunque su distribución geográfica y estacional determina la presencia de extensas regiones áridas y semiáridas. Desde las zonas tropicales hasta las regiones frías del extremo sur del continente sudamericano es posible encontrar una rica diversidad ambiental y distintas formas de intervención antrópica en muchos casos perturban y ponen en riesgo su equilibrio ambiental.

los años 90, se acentuó el proceso de empobrecimiento llegando a niveles de indigencia, especialmente en áreas periféricas de numerosas grandes ciudades de la región. La población urbana (77% de la población total) continua creciendo paralelamente a la pobreza.

A principios del milenio, la población de la región está en el orden de los 344 millones (Tabla 1.4) y como se mencionara la población urbana es del 77%, con tendencia a incrementarse (Figura 1.4). Tal proceso según diversos autores puede atribuirse a: (a) mayor oferta de servicios de salud, educación, ayuda social y empleo que se verifica en las ciudades (b) decrecimiento en la demanda de mano de obra en actividades rurales por incorporación de tecnologías de capital intensivas en actividades agrícolas; (c) tendencia de grandes grupo de población expulsada del mercado laboral en condición de extrema pobreza, a concentrarse en las periferias o alrededores de asentamientos de población económicamente "rica". En la región, la globalización en conjunto con la puesta en marcha a nivel regional y sincrónicamente de planes neoliberales trajo aparejado la expulsión de grandes sectores de la población del mercado laboral y del sistema productivo, acarreando más pobreza y marginalidad. Estos grupos se asientan en los alrededores de las grandes ciudades en condiciones habitacionales, sanitarias y ambientales sumamente precarias.

Tabla 1.4. Evolución de la Población 1960-2000 y proyección al 2025 (millones de habitantes) Fuente: Banco Mundial (1999) citado por GWP-SAMTAC (2001).

País	Años						
	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2025
Argentina	20.62	23.96	28.09	32.53	37.03	40.61	45.98
Bolivia	3.35	4.21	5.36	6.57	8.32	10.22	12.83
Brasil	72.76	96.02	121.67	147.94	170.27	190.51	217.82
Colombia	16.86	22.56	28.45	34.97	42.22	48.47	57.24
Chile	7.61	9.50	11.15	13.10	15.23	16.88	19.29
Ecuador	4.44	5.97	7.96	10.26	12.61	14.72	17.64
Paraguay	1.84	2.35	3.11	4.22	5.44	6.67	8.32
Perú	9.93	13.19	17.32	21.57	25.83	30.34	36.22
Uruguay	2.54	2.81	2.91	3.11	3.34	3.54	3.87
Venezuela	7.58	10.72	15.09	19.50	24.18	28.05	33.54
Sudamérica	147.52	191.29	241.1	293.77	344.47	390.00	457.76
Mundial	3019.34	3675.97	4429.87	5256.61	6054.89	6752.77	7764.74
%	4.89	5.20	5.44	5.59	5.69	5.78	5.83

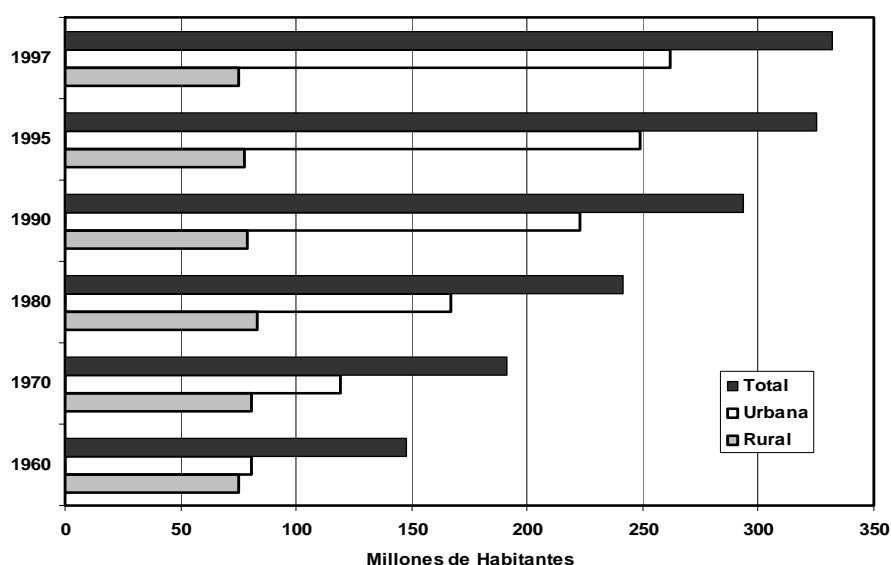


Figura 1.4. Evolución de la población total, urbana y rural en la región 1960-1997. Fuente: Banco Mundial (1999) citado por GWP-SAMTAC (2001).

El creciente fenómeno de la marginalidad que se da en América Latina (mayores inequidades a nivel mundial) puede visualizarse a través de la relación entre los ingresos de la población más rica y los ingresos de los mas pobre de la región (Figura 1.5 y 1.6). Mientras la tremenda desigualdad en América

Latina se incrementaba, pequeños sectores acumularon fuertemente riqueza, un claro ejemplo de ello es que en la década de 90 el PBI regional creció cerca del 40% (alrededor del 4% anual).

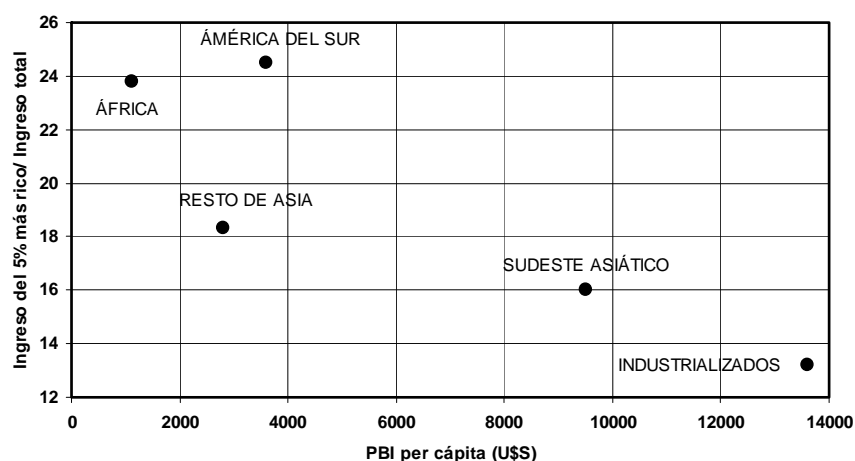


Figura 1.5. Ingreso que recibe el 5% más rico (% sobre el ingreso total). Fuente: BID (1998/1999) citado por GWP-SAMTAC (2001).

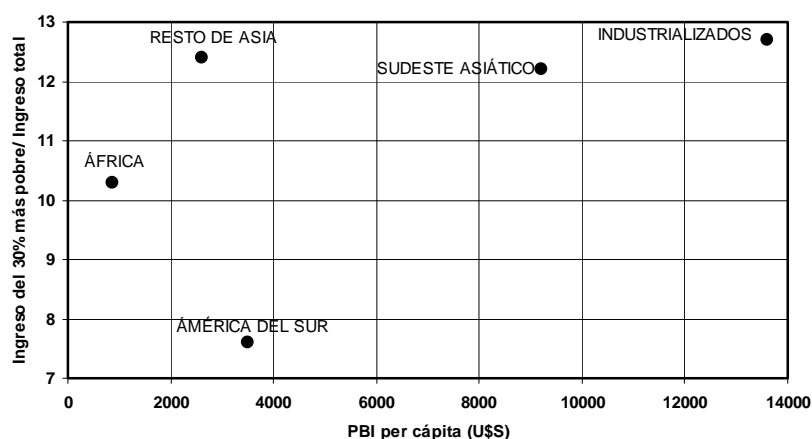


Figura 1.6. Ingreso que recibe el 30% más pobre (% sobre el ingreso total). Fuente: BID (1998/1999) citado por GWP-SAMTAC (2001).

1.1.2.2 Recursos Hídricos

América del Sur junto con Asia son las regiones que poseen los mayores recursos hídricos en el contexto mundial con alrededor de 12000 y 13500 km³ respectivamente, y variaciones interanuales en el orden de ± 15 -25% (Shiklomanov, 1999, citado por GWP-SAMTAC, 2001). Considerando que el valor medio de la disponibilidad de agua dulce en el mundo se ha estimado en 42000 km³ renovables mundialmente (GWP-SAMTAC, 2001), América del Sur dispone de más del 28% del total (Figura 1.7). La disponibilidad media anual estimada en el año 2000 de agua dulce en la región es del orden de 30000 m³ por habitante con fuertes variaciones temporales y espaciales, en un extremo tenemos a Perú con 1600 m³/hab/año y en el otro extremo tenemos a Paraguay con una disponibilidad de 58000 m³/hab/año (SAMTAC, 2000 citado por GWP-SAMTAC, 2001).

A fin de evaluar la presión sobre los recursos hídricos se ha estimado que una disponibilidad per cápita de 1000 m³/año corresponde al umbral por debajo del cual se sufre de escasez crónica a escala suficiente para impedir el desarrollo y afectar seriamente la salud humana (Naciones Unidas, 1994 citado en GWP-SAMTAC, 2001). Otros autores definen el "stress hídrico" y lo valoran en 1700 m³/hab/año (Falkenmark & Widstrand, 1993 citado en GWP-SAMTAC, 2001). Los valores del Índice de Falkenmark (IF) observados en distintos países (Figura 1.8), muestran a Perú como el único país con una disponibilidad

per cápita inferior a dicho umbral. Las previsiones para el año 2050 indican que la disponibilidad media de agua será de 760 m³/hab/año, convirtiéndolo a escala de país en el único de la región que presenta una situación seriamente comprometida.

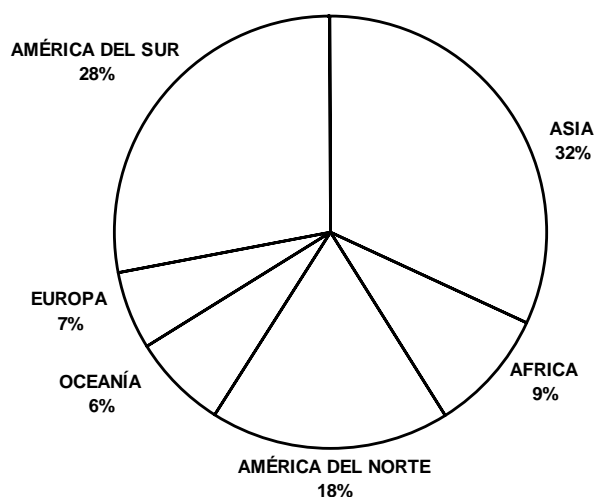


Figura 1.7. Disponibilidad de Agua en el Mundo. Fuente: UNESCO (1980).

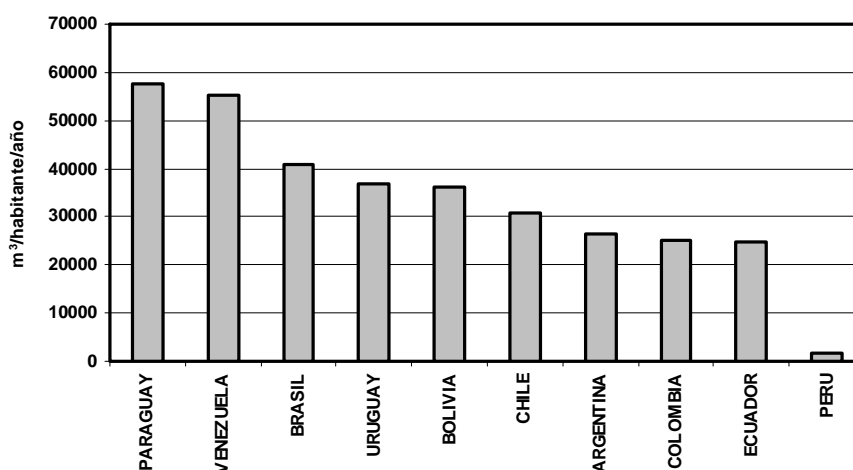


Figura 1.8. Índice de Falkenmark (IF) en América del Sur. Fuente: SAMTAC, JVP (2000) citado por GWP-SAMTAC (2001)

1.1.2.3 Aridez en América del Sur

Las zonas áridas y semiáridas en América del Sur ocupan alrededor del 23% de su superficie, aunque hay países como Argentina y Chile en las cuales se extienden en más de la mitad de su territorio (Argentina 62%, Chile 49%) (Figura 1.9). El uso de la tierra de estas zonas depende esencialmente de dos actividades: la agricultura intensiva bajo riego y el pastoreo de ganado, aunque en la región existen sectores dedicados a extracción de petróleo y actividades mineras.

1.1.2.4 El Clima y las Precipitaciones

El clima en América del Sur se encuentra influenciado por una circulación ecuatorial y monzónico-alísica, y por la presencia de la Cordillera de los Andes que a lo largo de sus 9000 km de longitud en dirección preponderante norte-sur actúa como una barrera de gran altura a los desplazamientos de humedad procedentes de los Océanos Atlántico y Pacífico.

El valor medio de las precipitaciones en América del Sur es de 1600 mm anuales, equivalentes a un aporte de 28400 km³, teniendo un patrón de distribución espacial sumamente heterogéneo. En regiones de Colombia (Serranía de Baudó) se registran precipitaciones de más de 9000 mm anuales en tanto que en la zona costera del Litoral Pacífico entre 12° y 29° de latitud Sur existen zonas hiperáridas con medias anuales que no superan los 10 mm (UNESCO, 1977, 1980).

La evaporación potencial varía desde 1600-1700 mm hasta los 300-400 m, mientras que la evaporación real lo hace entre los 1250-1300 mm, con un total medio de 850 mm, equivalente a un flujo hacia la atmósfera de 15100 km³. Este valor representa un 53% del valor del aporte de la precipitación media anual (UNESCO, 1977, 1980, 1996).

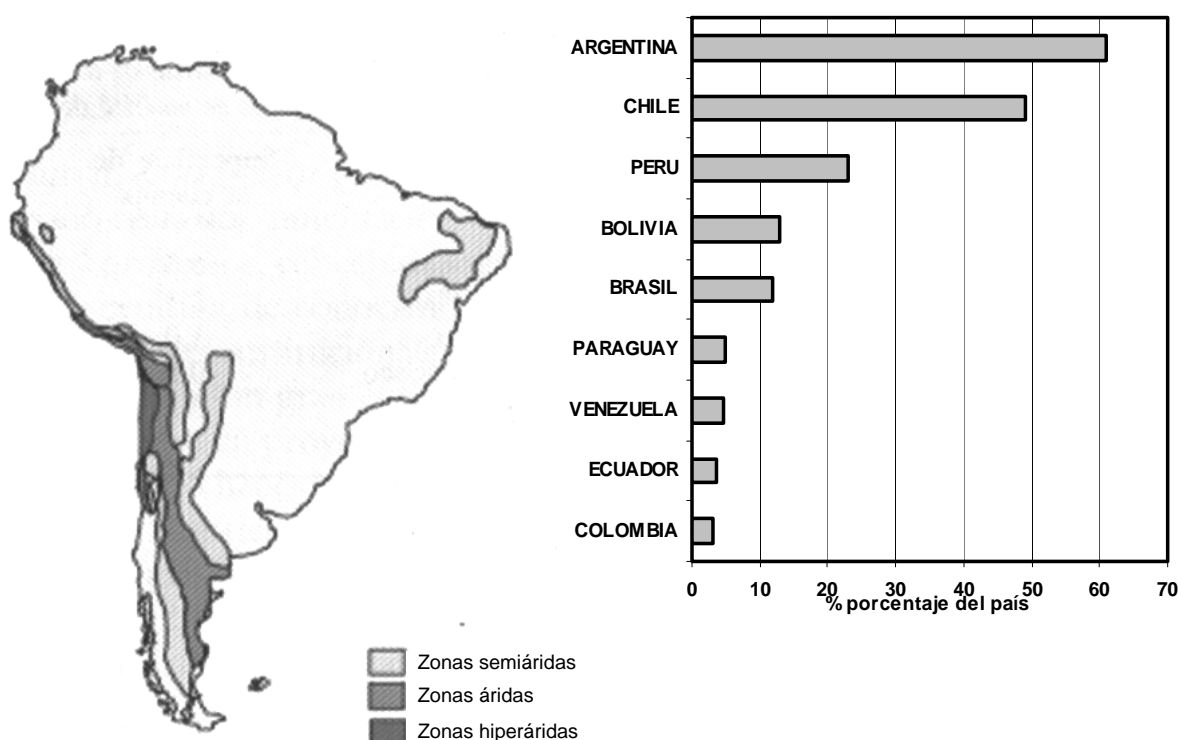


Figura 1.9. La Aridez en América del Sur. Fuente: FAO, SAMTAC, CEPAL citado por GWP-SAMTAC (2001).

1.1.2.5 Las Aguas Superficiales

América del Sur se encuentra rodeada por los Océanos Atlántico y Pacífico, y cuenta con una importante red de drenaje que incluye a algunos de los ríos más importantes del mundo (Amazonas, Paraná, del Plata, Orinoco, etc.). El mayor aporte de agua dulce se vierte en el Océano Atlántico, y una menor parte lo hace al Océano Pacífico (ver Tabla 1.5). Los ríos de la región son predominantemente de alimentación pluvial, y por lo tanto la distribución de los caudales viene determinada principalmente por la cantidad de precipitación y su distribución en el tiempo. Debido a ello, las fluctuaciones del patrón de precipitaciones repercuten directamente en los cursos de agua afectando a sus usuarios. Es interesante destacar que en las dos últimas décadas se ha verificado una importante tendencia en el incremento en los caudales de los ríos de América del Sur, en contraposición con un descenso observado en los caudales de los ríos africanos (Shiklomanov, 1999 citado por GW-SAMTAC, 2001).

La región cuenta con al menos seis grandes cuencas, y entre ellas la del río Amazonas de mayor aporte de agua dulce del mundo (ver Tabla 1.6). Asimismo, cuenta con gran cantidad de cuerpos lacustres de agua, pudiéndose mencionar al Lago Titicaca (Bolivia-Perú) con una superficie de 8100 km². No menos importante resulta la superficie de glaciares de la región que cubren un área estimada de 25000 km² (Argentina y Chile), resultando en uno de los mayores reservorios de agua dulce del mundo.

Tabla 1.5. Vertientes Hidrográficas de América del Sur. Fuente: SAMTAC (2000) citado por GWP-SAMTAC (2001).

Vertiente	Área (km ² x 10 ⁶)	Área (%)
Océano Atlántico	15.15	85
Océano Pacífico	1.24	7
Áreas Cerradas	1.41	8
TOTAL	17.80	100

Tabla 1.6. Principales cuencas y Ríos de América del Sur. Fuente: SAMTAC(2000) citado por GWP-SAMTAC (2001).

Río	Superficie de la Cuenca (km ² x 10 ⁶)	Caudal medio (m ³ /s)
Amazonas	6.5	209000
De la Plata (Paraná, Uruguay, etc.)	3.1	22000
Orinoco	1.0	34000
San Francisco	0.6	2850
Magdalena	0.2	8200

1.1.2.6 Recursos Hídricos Subterráneos

Las reservas de agua subterránea en América del Sur son muy considerables, estimándose en aproximadamente 3000000 km³, que se encuentran hasta una profundidad de 2000 m por debajo del nivel del mar. Su utilización es muy pequeña y las estimaciones de utilización indican un volumen aproximado de 15 a 17 km³/año. Esta magnitud es de 10 a 15 veces menor al volumen de precipitación infiltrado, produciéndose por el momento una aumento de reservas de agua subterránea (GWP-SAMTAC, 2001).

1.1.2.7 La Gestión de los Recursos Hídricos

En términos de recursos hídricos, América del Sur en general ha sido naturalmente bien dotada, con alrededor del 28% de la disponibilidad mundial de agua renovable, para una población de alrededor del 6% de la población mundial. Sin embargo existen en la región severos problemas relacionados al abastecimiento de agua para consumo humano, saneamiento pluvial y cloacal, desechos industriales, contaminación y degradación de cuencas y cursos, inundaciones y sequías. Según GWP-SAMTAC (2001) existen razones para avizorar una crisis hídrica en la región por diversos factores que apuntan en esa dirección:

- La gestión de los recursos hídricos continúa encarándose en forma sectorial, siendo los principales sectores usuarios: la agricultura bajo riego; la energía hidroeléctrica, suministro de agua, el saneamiento pluvial rural y urbano, desagües industriales, protección contra inundaciones, existiendo por lo general, poca interacción entre los mismos, lo que lleva a una toma de decisiones globales no óptimas con relación a infraestructura e inversiones relacionadas con el agua. La participación de los sectores involucrados en temas relativos a la formulación de proyectos sobre aprovechamientos de los recursos hídricos y gestión ambiental de los mismos, son mas bien la excepción que la regla.

- En general, no hay políticas estables y consistentes sobre recursos hídricos. Las políticas instrumentadas son las que dicta el "gobierno de turno" en lugar de generarse política de estado. Esto provoca la

falta de consistencia y de sustentabilidad necesarias para desarrollar una planificación y gestión de inversiones sustentables a largo plazo.

- Un 20% de la población de América del Sur no tiene acceso al suministro de agua potable y más de un 30% carece de servicios sanitarios, lo que significa que una población entre 70- 100 millones de personas no tiene acceso a los servicios básicos en zonas rurales y urbanas marginadas. Este es un problema de fundamental importancia en la región.

- La extendida contaminación y degradación de los recursos hídricos puede asociarse a una legislación, reglamentaciones, mecanismos de control, poder de policía por lo general inadecuadas y en casos existentes y a la falta de planificación global que incentive el tratamiento y posterior volcado de efluentes. Esta carga deberá ser soportada por las generaciones futuras, reduciendo el uso y consecuentemente la disponibilidad y renovabilidad del agua. Debido a la intensa contaminación y degradación del recurso agua observada en ciertas regiones de América del Sur, ciertos expertos plantean al agua más que como recursos condicionalmente renovable como un recurso no renovable. Sin lugar a dudas la reversión de esta degradación del ambiente y de la calidad del agua es uno de los mayores desafíos que enfrenta hoy América del Sur en conjunto (no casualmente) con la pobreza y la desigualdad de la distribución de la riqueza.

- La contaminación hídrica representa también un alto riesgo para la salud de la población que vive sin acceso al agua potable, siendo las enfermedades de origen hídrico uno de los problemas más serios en América del Sur.

- Las inversiones en mantenimiento y rehabilitación de infraestructura relacionadas con los recursos hídricos son insuficientes.

- En la década del 90 tuvo lugar en ciertos países una significativa tendencia hacia la transferencia de servicios de abastecimiento de agua para consumo humano y recolección y tratamiento de efluentes, con el argumento de atraer capitales de inversión al sector agua y mejorar la eficiencia del sistema. Sin embargo el nivel de inversiones comprometidas por las concesionarias nunca se llevó a cabo, y en general una matriz de comportamiento de los grupos que ganaron las concesiones fue proponer tentadoras ofertas (grandes canones, bajas tarifas, ambiciosos programas de inversiones, etc.) para luego una vez contratada la concesión en los primeros años de operación presionar al estado a renegociar los contratos (Postiglione y Riccardi, 2000). Esto no hubiera sido posible sin la complicidad directa e indirecta de funcionarios gubernamentales tanto en el proceso de llamado a licitación como en el control de la operación de tal concesionarias del servicio.

- América del Sur tiene un gran potencial para la generación de energía hidroeléctrica. Esto se explica fácilmente con la gran disponibilidad de recursos del continente. Si bien en nueve países la hidroenergía representa más del 50% del total de su producción energética, sigue existiendo un gran potencial sin aprovechar.

- Existe falta de preparación para enfrentar desastres naturales y eventos extremos (inundaciones y sequías). Aún no se han implementado políticas y metodologías en forma generalizada para prevenir los efectos típicos de dichos eventos extremos. Existen marcados déficit en los estudios y comprensión de los fenómenos naturales como así también en la mitigación de desastres naturales.

- La apresurada limpieza y tala en los suelos con finalidades agrícolas o para otros emprendimientos, plantea una seria amenaza a los frágiles ecosistemas naturales. Los procedimientos básicos para la evaluación de impactos ambientales no han sido implementados en varios países de la Región.

- La sobreexplotación agrícola ha producido importantes procesos de erosión de capas orgánicas de suelo con los consiguientes efectos de impermeabilización y aceleración de la velocidad de escurrimiento de agua. Esto se traduce directamente en aumento de caudal máximo de escurrimiento de cursos de agua y aumentos de volumen de escorrentía, repercutiendo con mayor intensidad en las cuencas bajas de los cursos de agua. Habitualmente en las zonas cercanas a desembocaduras en cuerpos de aguas mayores se asientan grandes poblaciones urbanas.

- Se estima que un 60% de la población habita en cuencas de ríos cuyas aguas son compartidas por dos o más países. Claramente señala la necesidad de una gestión de recursos hídricos integrada a nivel de países, para lograr un uso armónico y equitativo de los mismos. En la actualidad es mínima la existencia

de acuerdos para gestión de recursos transfronterizos. La mayoría de los acuerdos existentes están referidos a la construcción de presas con fines hidroeléctricos.

Muchos especialistas consideran que para lograr un manejo integrado es importante desarrollar y usar las cuencas y regiones hidrográficas como unidades de planeamiento y gestión en lugar de utilizar límites determinados por factores políticos o administrativos. Deben crearse organizaciones de cuencas hídricas con el objeto de lograr un enfoque holístico de la gestión de los recursos hídricos, que involucre a todos los interesados en la gestión del agua a través de un enfoque participativo incorporando aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales al proceso de toma de decisiones.

1.2 SÍNTESIS DE ASPECTOS FÍSICOS Y DEL CLIMA EN ARGENTINA

El territorio argentino posee una superficie total de 3.761.274 km² del cual el 73 % corresponde a la porción continental. Dentro del mismo se observa una gran variación del relieve y del clima. En el país se distinguen zonas de alta montaña en el oeste, mesetas en el sur, sierras en el centro-norte y llanuras que ocupan más de la tercera parte del país (Figura 1.10). Por su parte el clima también es muy diverso en Argentina. En el norte se presentan climas tropicales en tanto que en el sur se presentan climas fríos polares (ver Figura 1.11)

En la Figura 1.12 se presentan las precipitaciones medias anuales. En el noreste existen zonas de la provincia de Misiones con precipitaciones cercanas a 2000 mm anuales mientras que en el oeste y en el sur las precipitaciones suelen ser menores a 200 mm anuales, existiendo zonas de la provincia de Catamarca con lluvias inferiores a 100 mm anuales. La disminución de las precipitaciones anuales se verifica en dirección este-oeste y norte-sur. En las zonas montañosas también se manifiestan fortísimas variaciones de precipitaciones en pocos kilómetros debido a efectos orográficos.

Como se señalara en el punto 1.1.1.3 la aridez y semiaridez son rasgos dominantes en las dos terceras partes del territorio argentino, en tanto que en el resto del país dominan los suelos húmedos y sumamente fértiles (pampa húmeda).

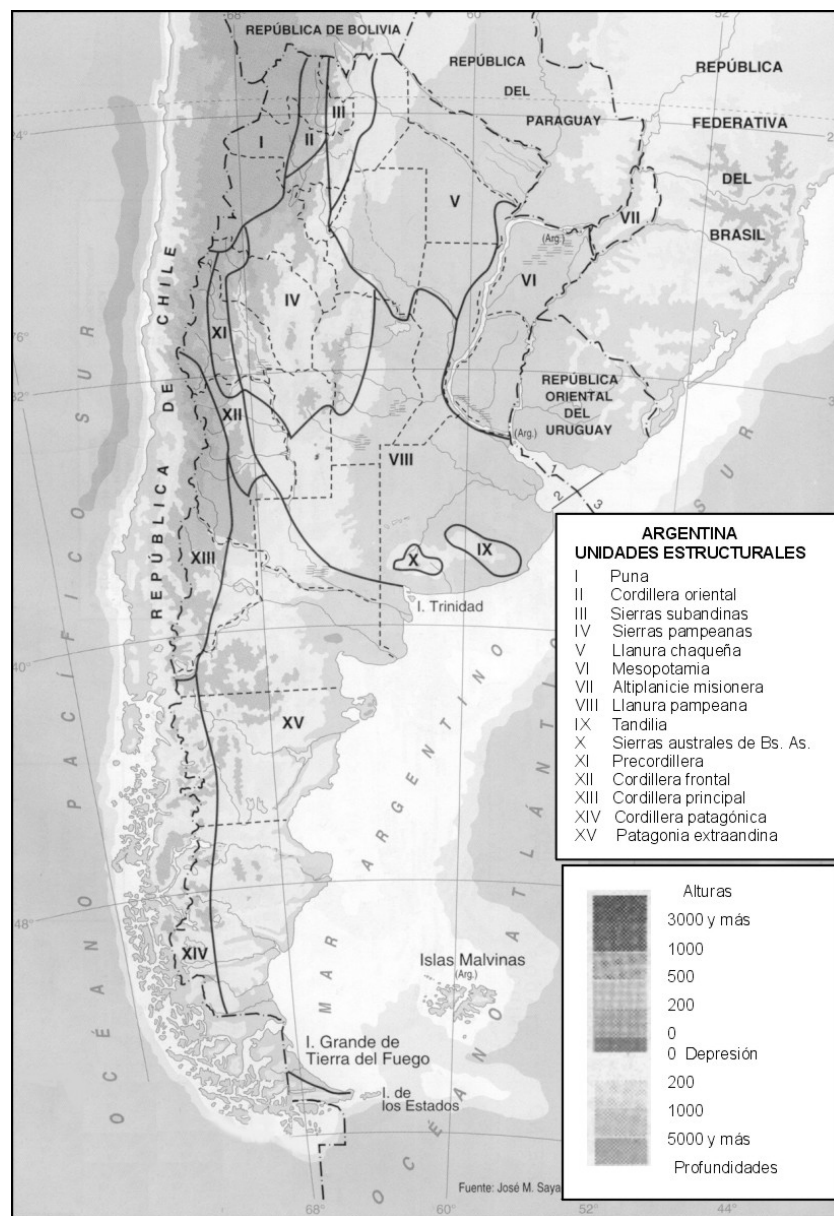


Figura 1.10. Relieve y unidades estructurales del territorio argentino. Fuente: Ciccolella et al.(1995) citado por Bertoni et al.(2002).

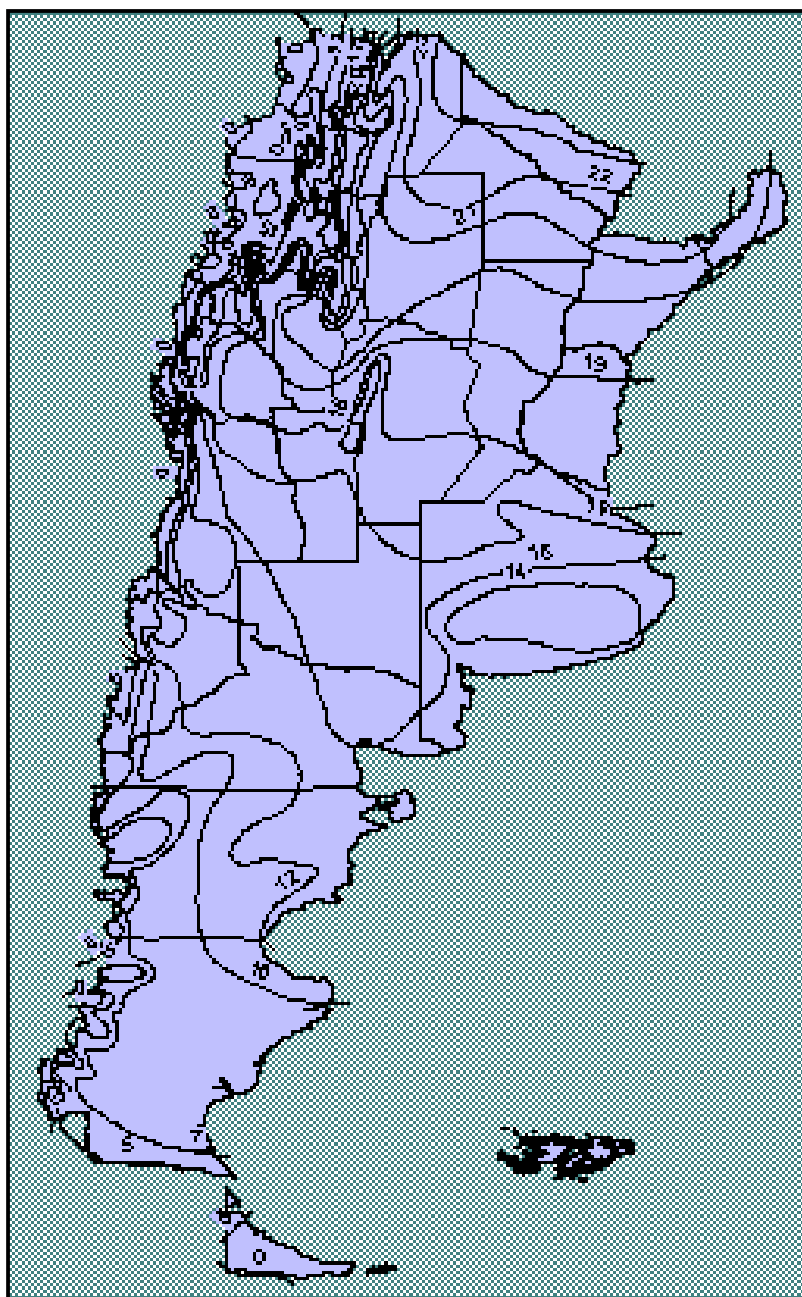


Figura 1.11. Temperaturas ;Medias Diarias Anuales. Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos (2002).

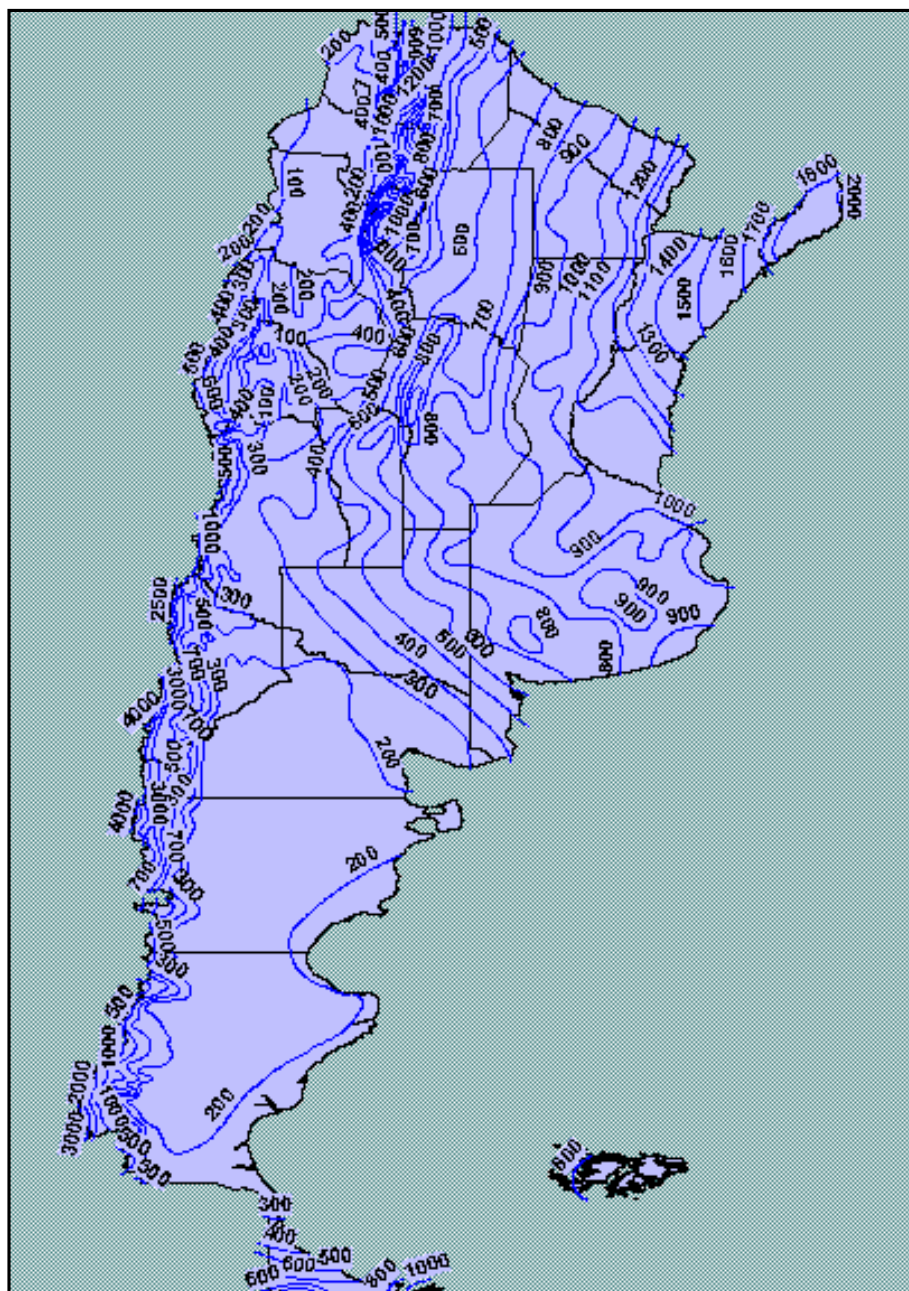


Figura 1.12. Precipitaciones Medias Anuales. Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos (2002).

1.3 ASPECTOS DEL PROCESO DE URBANIZACIÓN EN ARGENTINA (Extractado de Bertoni et al., 2002)

Según el censo del año 2001 (INDEC, 2002 citado por Bertoni et al., 2002), la población argentina es de 36.578.127 habitantes. En la conformación territorial de la población tres factores han influenciado de manera preponderante: (i) migraciones externas; (ii) migraciones internas y (iii) crecimiento vegetativo diferencial. Entre 1950 y 1970, el factor predominante fueron las migraciones internas. Entre 1970 y 1980 se observó una disminución de las migraciones internas y un aumento del crecimiento vegetativo de la población. En 1950 la población urbana alcanzaba al 62 %; en 1980 alcanzó el 82 %; actualmente es prácticamente del 90 %.

En el proceso de urbanización argentino de las últimas décadas existen dos aspectos que merereren destacarse:

- (a) La preponderancia de la ciudad de Buenos Aires y su región metropolitana sobre el resto del país, y
- (b) El crecimiento y la multiplicación de las ciudades intermedias, localizadas mayormente en la región central del país.

El conjunto de estas características contribuye al alto porcentaje que caracteriza a la población urbana argentina.

(a) – *Preponderancia de la ciudad de Buenos Aires y de suregión metropolitana:*

Buenos Aires y su conourbano (17 partidos que conforman el denominado “Conourbano Bonaerenese”) concentra una población que se aproxima a 12,5 millones de habitantes, diez veces superior a las poblaciones de Rosario y de Córdoba (las dos ciudades que le siguen en términos de concentración urbana). El Conurbano Bonaerense alberga al 24,5% de la población del país y al 63,3% de la provincia de Buenos Aires. Si se lo considera en conjunto con la ciudad de Buenos Aires, concentra el 41% de la población total del país, con una densidad media de población de 2165.6 habitante/km², conformando la tercer aglomeración urbana de Latinoamérica. Esta aglomeración urbana posee un efecto dominante sobre todo el territorio del país. El fenómeno supera incluso la concentración observada en otras regiones del mundo (Tabla 1.7) (Bertoni et al., 2002).

Tabla 1.7. Peso de las grandes metrópolis en la población urbana y la población total de cada país, para el año 1990. Fuente: World Bank Indicators (1995) citado por Bertoni et al. (2002).

Ciudad	Porcentaje sobre la población urbana del país	Porcentaje sobre la población total del país
Buenos Aires (Argentina)	41	36
Seul (Corea del Sur)	35	26
Mexico (México)	33	24
El Cairo (Egipto)	39	17
Tokio (Japón)	19	15
París (Francia)	21	15
Manila (Filipinas)	29	14
Londres (Reino Unido)	14	13
Bruxelas (Bélgica)	10	10
Lagos (Nigeria)	23	8

Ya antes de su desarrollo industrial la capital argentina ha ejercido una fuerte influencia en la región. El contacto permanente con los países europeos y de condiciones económicas favorables explican el desarrollo de la mayor parte de sus infraestructuras, que coinciden con aquello ocurrido en los países desarrollados: en 1913 ya existían en Buenos Aires redes de subterráneos, de tranvías y de ferrocarriles metropolitanos. Durante las primeras décadas del siglo XX la ciudad tuvo la influencia de arquitectos franceses que le dieron su fisonomía de ciudad de estilo *haussmanniano*, con importantes boulevares y avenidas.

Buenos Aires produce actualmente el 26% del PBI del país. Su PBI supera actualmente aquellos de Paraguay y de Uruguay reunidos y se asemeja al de Chile (*Clarín*, 27-7-2000 citado por Bertoni et al., 2002). A partir de 1985 la aglomeración de Buenos Aires ha conocido una disminución en su ritmo de expansión urbana, sin que ello implique la pérdida de su rol protagónico. Esta situación se refleja en el hecho de ser el sector de la construcción aquel que menos contribuye actualmente al PBI de la ciudad (3,2%). En la Figura 1.13a, se observa la expansión geográfica de Buenos Aires y de su entorno. Actualmente la densidad media de población en la capital argentina es de 150 hab/ha y las zonas verdes alcanzan a 0,6 m²/hab contra los 15 m²/hab recomendados por la Organización Mundial de la Salud (*Clarín*, 23-09-00 citado por Bertoni et al., 2002).

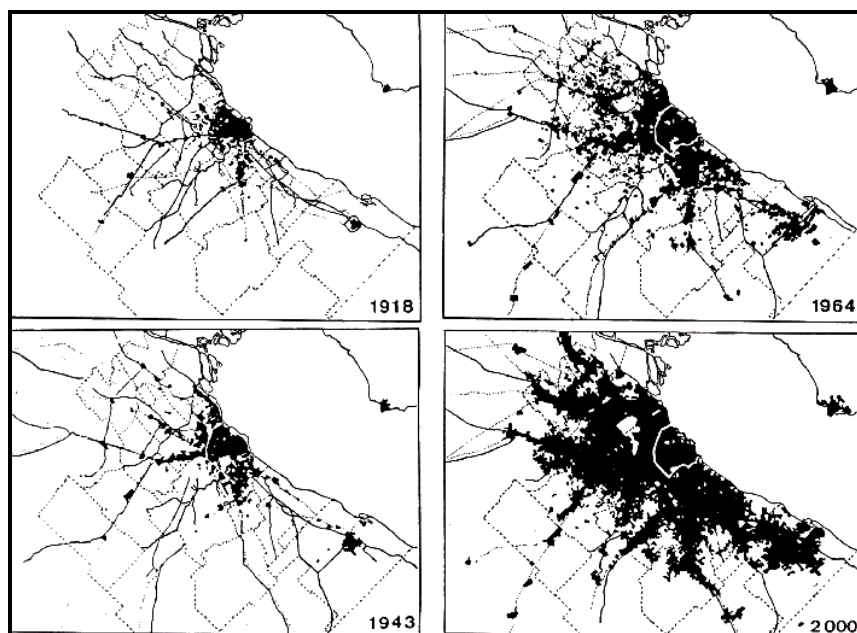


Figura 1.13a. Crecimiento de Buenos Aires y del conurbano bonaerense.

Fuente: Guglielmo (1996) citado por Bertoni (2001)

El proceso de "tercerización" de la ciudad de Buenos Aires queda evidenciado si se compara el tránsito de personas desde la periferia a las áreas centrales: de las 70 mil personas/día de 1980 ha ascendido a la preocupante cifra de más de 800 mil que diariamente ingresan y egresan de la ciudad con un sistema de transporte cada vez más exigido.

Nota de G. Riccardi (2004): en la Figura 1.13b se ilustra el crecimiento de la ciudad de Rosario, donde también se ha dado una importante expansión geográfica. En alrededor de 113 años la ciudad pasó de 51000 a 1000000 de habitantes, en tanto que la zona urbanizada evolucionó de 501 Ha a más de 11000 Ha.

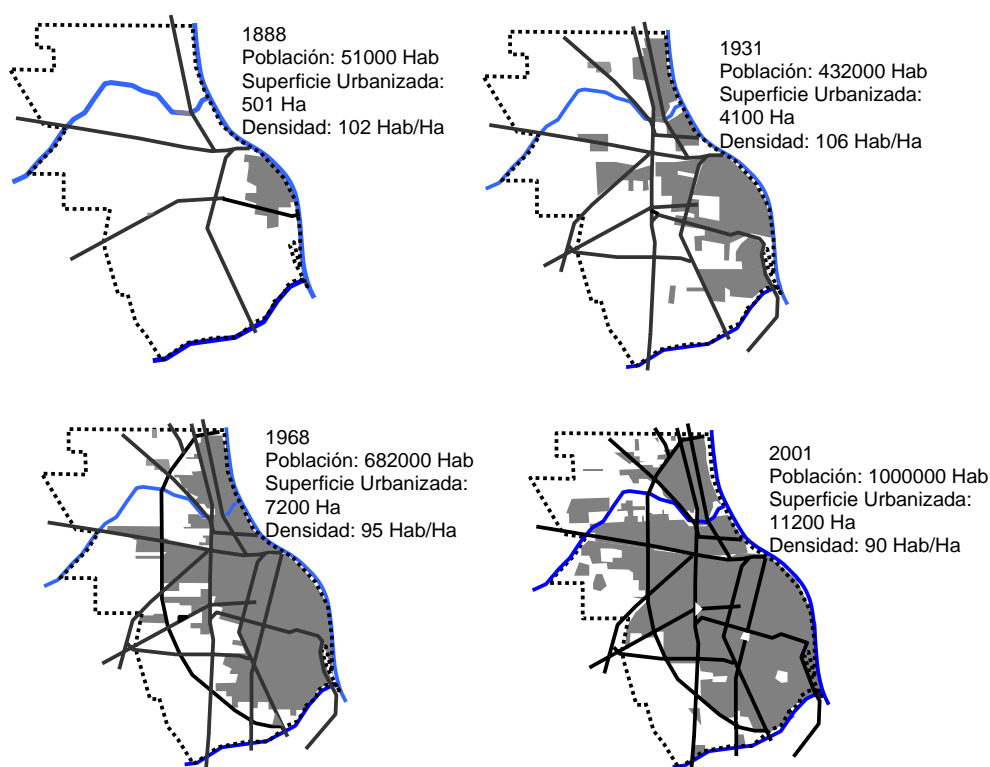


Figura 1.13b. Crecimiento de la ciudad de Rosario (los datos son aproximados)

(b) – Crecimiento y multiplicación de las ciudades intermedias:

El desarrollo de las ciudades de tamaño intermedio se debe a dos fenómenos diferentes: (i) la disminución del éxodo desde el interior hacia Buenos Aires y el conurbano bonaerense y (ii) la disminución de la población concentrada en torno a pequeñas ciudades y pueblos del interior.

La disminución del ritmo de crecimiento de Buenos Aires es el resultado de su pérdida de capacidad de absorción de mano de obra, fundamentalmente en el sector industrial. Por otro lado, la disminución de la población diseminada o agrupada en las pequeñas ciudades del interior se debe al éxodo rural. Este último proceso es el resultado de dificultades económicas en casi todas las actividades agro-industriales de todas las regiones del país.

La Figura 1.14 ilustra acerca de las tendencias antes citadas. Se observa el sostenido incremento de la población en las ciudades intermedias. El mismo resulta a expensas de un fuerte decrecimiento de la población en ciudades pequeñas, como también del menor crecimiento de las principales metrópolis del país (Buenos Aires, Rosario y Córdoba). Desde el punto de vista geográfico este proceso presenta cierta heterogeneidad, con mayor concentración de ciudades intermedias en la región central del país (Figura 1.15). Esta heterogeneidad se opone, por ejemplo, a la homogeneidad típica de algunos países europeos como Francia.

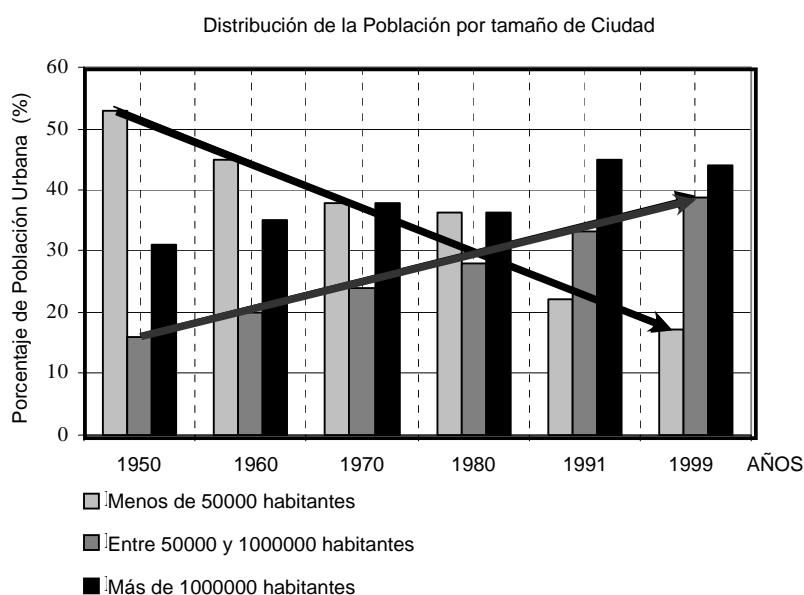


Figura 1.14. Tendencia del proceso de urbanización argentino a partir de la segunda mitad del siglo XX. Fuentes: Bertonecello et al. (1997); INDEC (2002); Bertoni (2002).

Como consecuencia de estos dos aspectos que caracterizan al sistema urbano argentino de los últimos años, las condiciones de vida de la población urbana presentan también algunos indicadores heterogéneos. En Buenos Aires, la totalidad de las viviendas poseen servicios de agua potable y cloacas. La proporción cae al 68 % cuando se incluye a los 17 *partidos* del conurbano bonaerense. En el resto del país las redes de saneamiento urbano alcanzan al 55% de la población.

La situación y los sitios de una gran parte de las ciudades argentinas reflejan una interacción muy estrecha entre el proceso de asentamiento urbano y las redes hidrográficas del país. En efecto, los cursos de agua han sido en muchos casos el nexo fundamental para el emplazamiento de las ciudades en sus márgenes, fundamentalmente de aquellas creadas durante la colonización europea.

Con el paso de los años la relación hidrografía-urbanismo se ha ido transformando de manera radical. En efecto, como consecuencia de la expansión urbana sin planificación y de la débil conciencia ambientalista el concepto de "*ciudades que se desarrollan a la vera de los cursos de agua*" se transformó hacia el de "*cursos de agua que atraviesan las ciudades*". Esta concepción errónea ligada a la urbanización se explica por diversas falencias que involucra, además de las apuntadas, a la especulación inmobiliaria, a fallas de formación de los profesionales urbanistas y a los permanentes

problemas socio-económicos de la población. En algunos casos ello explica la instalación de barrios en zonas naturalmente inundables, hecho típico de diversas localidades argentinas y que atañe a barrios de diferentes estratos socio-económicos, fundamentalmente aquellos más humildes.

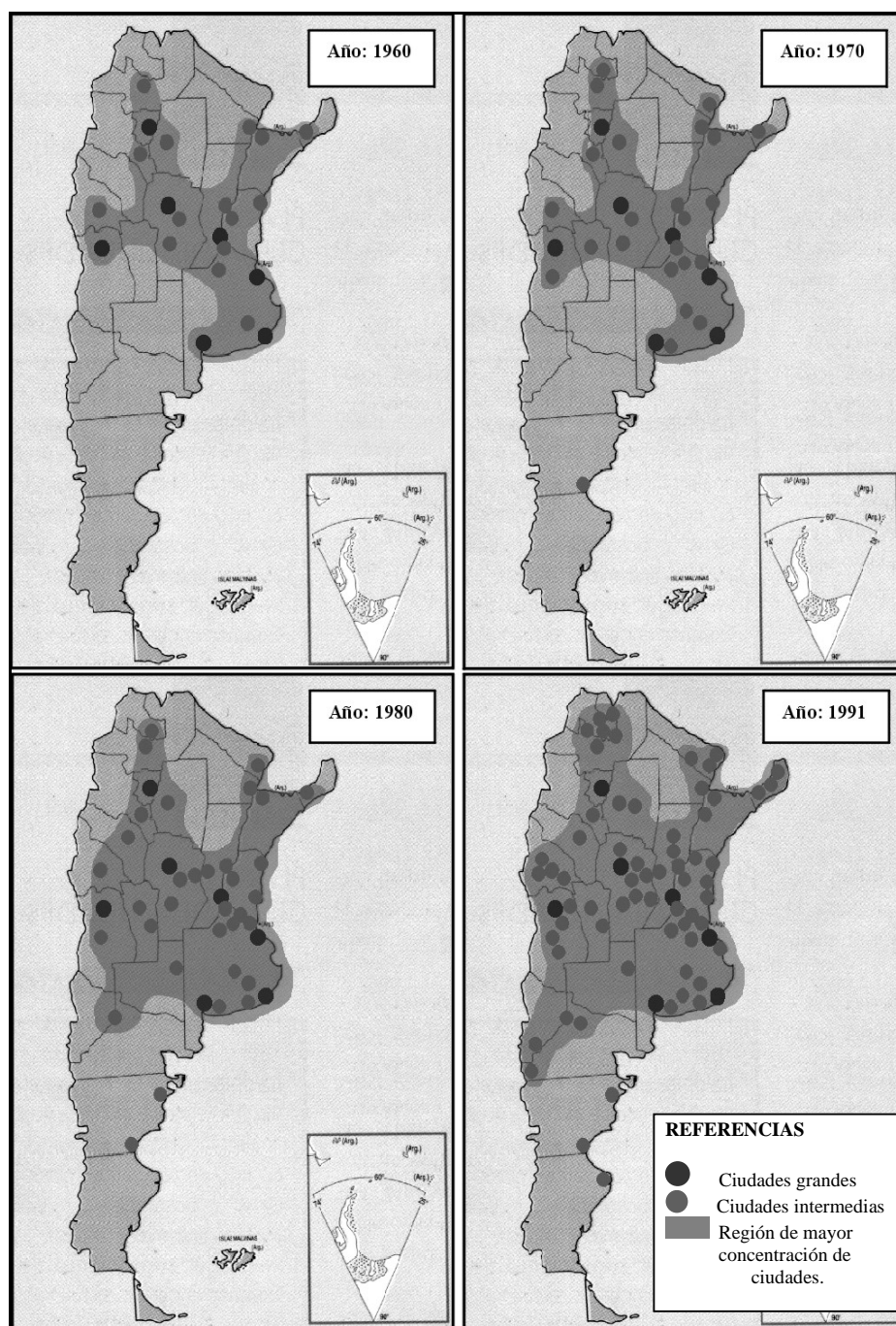


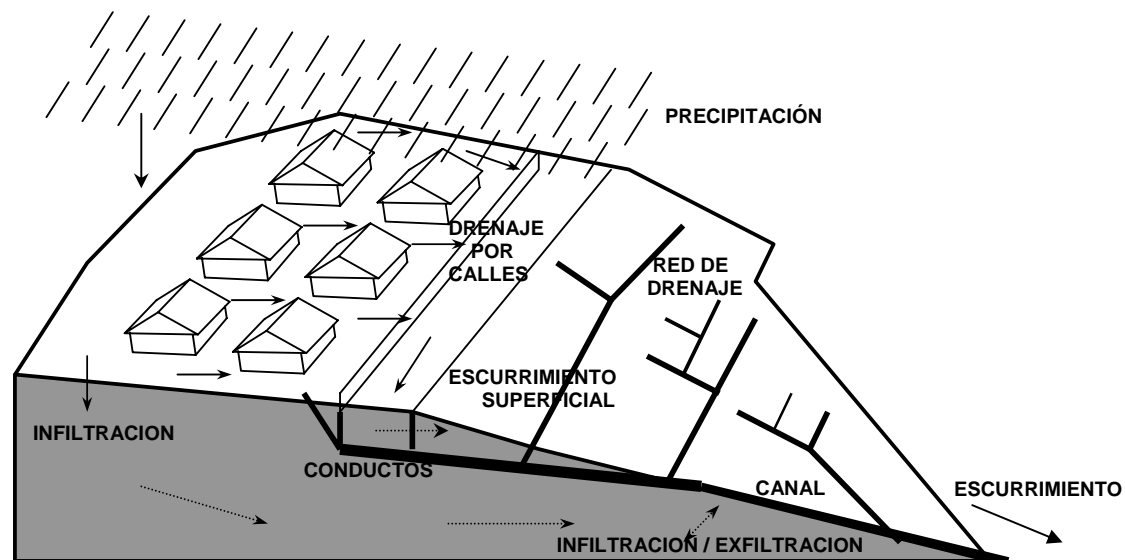
Figura 1.15. Evolución de la distribución geográfica de las ciudades intermedias y grandes en Argentina (período 1950-1995). Fuente: Ciccolella et al., (1995) citado por Bertoni et al. (2002).

1.4 INUNDACIONES URBANAS

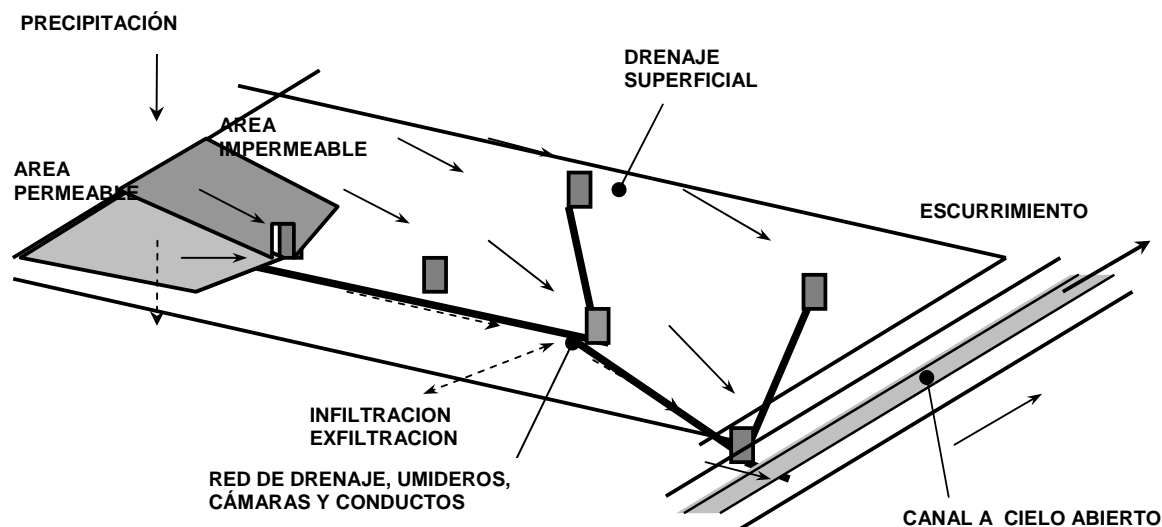
1.4.1 Cuencas Urbanas

Toda cuenca urbana ha sido en algún momento de la historia una cuenca rural, con lo cual pueden considerarse las cuencas urbanas como el efecto de una continua perturbación debido al impacto sobre el medio ambiente natural provocado por los procesos dinámicos de urbanización llevados a cabo por el hombre.

Las modificaciones fundamentalmente se manifestaron y manifiestan en cambios en la superficie de la cuenca y las vías de escurrimiento natural del flujo (UNESCO, 1978) (Figura 1.16) (Riccardi, 1997c). La impermeabilización de parte de la superficie de la cuenca implica reducción en áreas de infiltración, con lo que aumenta el escurrimiento superficial y se reduce la infiltración, la percolación y el escurrimiento sub-superficial y subterráneo. Todas las acciones de suavizamiento de la superficie como pavimentaciones, nivelaciones, etc. (que implican una disminución importante de la resistencia al flujo) y las redes artificiales de drenaje aceleran el flujo; puede en algunos casos existir la alternativa de retardo y amortiguamiento debido a terraplenes de defensa, rutas, embalses de retención, etc.



(a) Alteración del sistema de drenaje natural en cuencas urbanas



(b) Sistema básico de desagües pluviales separativo

Figura 1. 16. Procesos hidrológicos en ciclo lluvia-caudal en cuencas urbanas

El clima de una cuenca se altera en la medida en que se urbaniza. Se han observado incrementos de precipitaciones del orden del 5 al 15% debido a aumento de temperatura de los ambientes urbanos (0.5°-3°C) y a cambios de los vientos dominantes y otros factores climatológicos (O'Loughlin et al., 1996).

Las redes de desagües rurales se convierten en redes de conductos subterráneos y canales artificiales, pudiendo quedar también ciertos cursos naturales. Las condiciones de borde de la cuenca y las subcuencas incluidas pueden ser alteradas en forma importante.

El escurrimiento en regiones urbanas por lo general se conforma con dos componentes que, si bien están interconectados, tienen funcionamiento bien diferenciado. Un componente es el sistema menor, primario, inicial o de microdrenaje y el segundo es el sistema mayor o de macrodrenaje.

El Sistema Menor, Primario, Inicial, o de Microdrenaje es la porción del sistema de drenaje total que colecta, almacena y transporta escurrimiento de lluvias de frecuencia ordinaria (2-5 años) y provee un alivio a las molestias, daño e inconvenientes que las lluvias frecuentes ocasionan. Este sistema tradicionalmente ha sido cuidadosamente planificado, diseñado y construido, y en general representa la mayor porción de la inversión en infraestructura para drenaje urbano. El grado de inconvenientes que los habitantes están dispuestos a soportar debe balancearse con el precio que están dispuestos a pagar por las obras, surgiendo de esta relación el caudal de diseño o la recurrencia de diseño del sistema menor. El sistema menor incluye cunetas, cordones cuneta, badenes, zanjas, bocas de tormenta, captaciones de zanjas, caños de conexión de bocas de tormenta y captaciones de zanjas, conductos y galerías subterráneos, cámaras, pequeños canales a cielo abierto, pequeños reservorios, alcantarillas y estaciones de bombeo entre las mas importantes. El límite del sistema menor es definido con un criterio hidráulico, y es aquel punto donde no se producen efectos adversos debido a remansos desde condiciones aguas abajo, para menores caudales con que el sistema menor ha sido diseñado. El sistema menor también suele ser denominado en ciertos textos como Sistema Primario o Sistema Inicial. Otros autores prefieren definir a este sistema como el Sistema de Microdrenaje.

El Sistema Mayor, Secundario, o de Macrodrenaje es la porción del sistema de drenaje total que colecta, almacena y transporta el escurrimiento que excede la capacidad del sistema menor. El sistema mayor en general es el camino natural de las aguas y es generalmente menos controlado que el sistema menor. El sistema Mayor funcionará haya o no haya sido deliberadamente diseñado y construido adecuadamente para transportar escurrimiento. El Sistema Mayor existirá siempre. Este sistema también operará cuando por alguna razón el sistema menor está obstruido parcial o totalmente o cuando el sistema menor no existe. Puede ser colineal o separado del sistema menor. Debe remarcarse que existen autores que objetan la denominación "mayor" y "menor" para describir las porciones del sistema de drenaje argumentando que esos términos implican que el sistema menor es de menor importancia. En síntesis, pueden hallarse denominaciones de ambos sistemas como: Sistema Mayor y Sistema Menor; Sistema Primario y Sistema Secundario; Sistema Inicial y Sistema Secundario; Sistema de Microdrenaje y Sistema de Macrodrenaje.

La concentración del flujo crece en la medida en que la urbanización se desarrolla. Asimismo, la velocidad de escurrimiento también aumenta, produciendo un descenso del intervalo de tiempo *lag*, factor de mayor importancia causante del incremento del caudal máximo. Esta mayor velocidad del flujo limita su atenuación y lleva a las cuencas a ser más sensibles a tormentas intensas de corta duración.

El balance de agua a nivel de cuenca también sufre alteraciones con los procesos de urbanización (Van de Ven 1990). Gran parte del agua que conforma la provisión de agua potable a los habitantes es transferida a los sistemas de drenaje. Actividades tales como regados de parques, jardines, lagos artificiales, pueden alterar las condiciones de humedad del suelo, y por otro lado en grandes sectores impermeabilizados se suprime la infiltración natural y la recarga de los acuíferos; estos mecanismos alterados provocan cambios en los niveles de los acuíferos. Se ha observado en el caso de cursos de agua que atraviesan zonas urbanas un aumento del caudal base a partir de procesos de urbanización, a pesar de la baja de infiltración por impermeabilización de la superficie. Este aumento de flujo base, conjuntamente con el incremento de la carga de sedimentos del escurrimiento, originado en las construcciones de obras, provoca cambios geomorfológicos en los cursos de agua.

Aguas abajo de áreas urbanizadas en corrientes naturales pueden sucederse socavación de márgenes, erosiones generalizadas y procesos de sedimentación. La calidad del escurrimiento, especialmente en los cuerpos receptores, también sufrirá desmejoras, debido al incremento de nutrientes, contaminación fecal y la introducción de contaminantes como metales pesados, hidrocarburos, herbicidas y pesticidas.

La dimensión del impacto sobre el ciclo hidrológico causado por los procesos de urbanización y desarrollo depende de un importante número de factores físicos y culturales (Van de Ven, 1990). El clima, la topografía, la geología, los tipos de suelos y vegetación tienen una importante influencia del mismo modo que la historia, los patrones y densidades establecidos para el desarrollo y la tipología de la red de drenaje pluvial. Se verifican notables diferencias entre adoptar un sistema unificado (pluviocloacal) o uno separativo como así también cuando se utilizan distintos criterios de definición de la capacidad de los conductos. Detalles tales como la modalidad de drenar el agua de escurrimiento de los techos manifiesta importantes efectos sobre la respuesta de la cuenca.

En cuencas no-urbanas se manifiestan cambios en la respuesta del sistema ante lluvias similares según eventos u acciones antrópicas, como por ejemplo quema de campos, rotación de los ciclos de cultivo, trazado de líneas férreas o viales, pero en cuencas urbanas el cambio continuo es predominante. Los procesos de reurbanización son muy frecuentes, de modo tal que muchas áreas urbanas experimentan variaciones significativas en el uso de la tierra dentro del período de vida útil de las obras de drenaje y de los períodos temporales necesarios para establecer las relaciones estadísticas de diseño. Por lo tanto, en el diseño de sistemas drenaje urbano las características de la cuenca no pueden ser definidas como permanentes, lo que dificulta la fijación y agrupación de objetivos en términos precisos.

En lo concerniente a la cuantificación de las más importantes alteraciones producidas sobre los procesos hidrológicos se ha comprobado un mayor cambio en tormentas de baja intensidad. Esto explica que en las cuencas rurales en lluvias de baja intensidad gran parte del agua precipitada se pierde en las pérdidas iniciales y la infiltración y el escurrimiento sólo ocurren cuando estas demandas son excedidas por la lluvia, en tanto que en cuencas urbanas con gran área impermeabilizada existe escurrimiento en todas las lluvias, con lo que el incremento relativo en caudal es elevado. En tormentas de larga duración, en las que toda la superficie permeable de la cuenca llega a un estado de humedad elevada, el caudal producido en superficies permeables y el correspondiente a superficies impermeables son bastantes similares. Dado que las pérdidas (intercepción, almacenamiento superficial, infiltración) decrecen a medida que la superficie de la cuenca se impermeabiliza, y que un gran margen de incertidumbre tiene que ver precisamente con la evaluación de esas pérdidas, es esperable en superficies impermeables una respuesta más predecible que desde superficies permeables.

1.4.2 Tratamiento típico del problema de las inundaciones urbanas

En sintonía con el fenómeno mundial y particularmente regional-continental de urbanización creciente en la Argentina se generan continuas presiones para la ocupación del espacio urbano. Dentro de un contexto de desinversión del sector público en medidas estructurales y no estructurales, falta de planificación y políticas hídricas adecuadas, el abordaje de los problemas de drenaje urbano generalmente se realiza solo inmediatamente después de su ocurrencia y en casos el problema de las inundaciones urbanas muchas veces es relegado en las prioridades de gobierno, especialmente cuando se presentan ciclos hidrológicos secos.

En los municipios de mayor porte, que poseen áreas dedicadas a la planificación, las inundaciones urbanas no siempre son relacionadas con la política de ocupación del espacio urbano y ello dificulta la formulación de medidas eficaces. En las localidades más pequeñas, de menores recursos, la imposibilidad de contar con especialistas resulta en soluciones que no contemplan la integralidad del problema. Como resultado, en la mayoría de los casos el problema termina exigiendo en forma recurrente un esfuerzo apreciable de las áreas de Defensa Civil y Asistencia (Bertoni et al., 2002).

Conforme citado varios autores, la evolución típica del proceso se inicia a partir de pequeñas áreas en el marco de un proceso de aprobación de loteos. Cuando un loteo es proyectado los municipios solamente exigen que el proyecto de drenaje pluvial asegure el drenaje eficiente del sector, sin considerar el impacto del aumento del caudal máximo hacia aguas abajo. Una característica causante del descontrol observado en la mayoría de las ciudades es que quien impermeabiliza no sufre las consecuencias; los efectos hidrológicos solo se verifican hacia aguas abajo. Cuando las municipalidades no controlan la urbanización o no amplían la capacidad del sistema de drenaje la ocurrencia de crecidas urbanas aumenta, con pérdidas sociales y económicas para toda la comunidad (Bertoni et al., 2002).

Otros problemas derivan de las interferencias entre los diversos sistemas que coexisten en el ámbito urbano. Estos conflictos han aumentado en los últimos años como resultado del incremento de las obras de infraestructura básica y complementaria. A veces se observa un cierto descuido en las soluciones, no siendo evaluadas las consecuencias hidráulicas de las alteraciones realizadas. El aspecto sobresaliente

a ser contemplado en el análisis de condicionantes es que el flujo pluvial escurre por acción de la gravedad. Las consecuencias de las modificaciones introducidas sobre el sistema de drenaje solo se aprecian con posterioridad, durante la ocurrencia de tormentas severas. En algunos casos la combinación de efectos resulta en inundaciones inesperadas sobre áreas urbanizadas, aún bajo lluvias no muy intensas (Bertoni et al., 2002).

Lamentablemente, tampoco la creciente concientización por la preservación del medio ambiente ha generado aún acciones prácticas significativas con relación al drenaje urbano. En este sentido es de esperar que la divulgación de conceptos ligados al proceso de generación de las inundaciones urbanas ayude a un mayor grado de concientización de la población en general y, en particular, al accionar de los grupos ambientalistas (Bertoni et al., 2002).

Según Bertoni et al. (2002) puede afirmarse que a medida que aumenta el porte de las ciudades se agravan las consecuencias de la falta de planificación y reglamentación. Después que el espacio es totalmente ocupado, las soluciones disponibles resultan extremadamente caras y más complejas técnicamente. El poder público pasa a invertir una parte significativa de su presupuesto para proteger algunos sectores de la ciudad que sufren debido a la falta de previsión en la ocupación del suelo.

La respuesta técnica al problema es disciplinar la ocupación urbana a través de una densificación compatible con los riesgos de inundación y sustentabilidad del ecosistema. El objetivo es minimizar, y de ser posible impedir, el aumento sistemático del hidrograma de áreas urbanas. Para ello es necesario cuantificar el impacto de las diferentes condiciones de urbanización sobre el escurrimiento y establecer una reglamentación del uso del suelo (Bertoni et al., 2002).

1.4.3 Urbanización e Impacto sobre el Medio Ambiente Natural

Como ya fuera señalado, el crecimiento sostenido de las concentraciones urbanas lleva asociado importantes perturbaciones sobre el medio ambiente natural. En relación directa a la problemática de las inundaciones urbanas y la gestión del drenaje pluvial urbano, los impactos más relevantes sobre los ambientes urbanos que deben tender a mitigarse pueden describirse como:

- a) Aumento de Riesgo de Inundación
- b) Decrecimiento de la Calidad de Agua Superficial y Subterránea
- c) Incremento de Procesos de Erosión-Sedimentación

Por otra parte el concepto de diseño de los sistemas de saneamiento urbano ha sufrido, en los últimos años, un importante cambio, propiciado por ciertos avances científicos y tecnológicos y por la creciente preocupación social por la protección del ambiente. Desde el surgimiento de las redes de drenaje en ciudades (siglo XIX), éstas se desarrollaron bajo una concepción “higienicista” donde se priorizó la evacuación de todo tipo de aguas (pluviales, cloacales, industriales) lo más rápidamente posible y lo más lejos posible. En general no se consideraban efectos sobre cuerpos receptores, propagación de efectos (en términos de cantidad y calidad) en dirección aguas abajo y procesos de deterioro ambiental acumulativos a largo plazo. Esta visión mecanicista de la circulación del agua urbana no es más aceptable en una época donde se proponen acciones respetando el medio ambiente. Progresivamente esta concepción se ha ido modificando, y en la actualidad la gestión de los drenajes rurales y urbanos se debe enmarcar dentro de un sistema superior como el ciclo hidrológico.

Según la UNESCO se han identificado y cuantificado en valores medios los siguientes impactos a cauces producidos por el incremento de la urbanización:

- Caudales máximos se incrementan de 2 a 5 veces sobre los de la preurbanización
- La frecuencia de eventos de inundaciones puede incrementar desde una cada dos años a 3 – 5 veces cada año. Un cauce que a través de los años ha adaptado su planicie inundable será ahora reformado debido al incremento de la cantidad y velocidad del agua. Habrá deslizamientos de márgenes y ampliaciones del lecho, erosión del lecho y caídas de árboles.
- El escurrimiento alcanzará el cauce receptor mucho más rápido (hasta un 50%).
- Se reducirá el caudal base debido a una menor infiltración.
- La sedimentación producida por un incremento de la erosión llenará tramos de remanso en los cauces, impactando directamente la vida acuática y el número y tipos de organismos que se encuentran.

- La cantidad de contaminantes que entran al sistema fluvial durante y después de la urbanización se incrementan por un orden de magnitud.
- La temperatura de un cauce urbano puede incrementarse $0,08^{\circ}\text{C}$ por 1% de incremento de la impermeabilidad.
- La temperatura de un cauce urbano puede incrementarse $0,83^{\circ}\text{C}$ por 30 m cuando fluye a través de áreas sin sombra.

Algunos científicos afirman acerca de la dificultad de distinguir entre hidrología urbana y rural, al respecto Chocat (1997) citado por Bertoni (2001) dice: *"la distinción entre la hidrología urbana y la hidrología rural resulta cada vez más difícil de establecer dado la evolución actual de los modos de ocupación del suelo urbano (desarrollos de zonas periurbanas) y la modificación de los modos de vida. La noción de hidrología urbana podrá evolucionar progresivamente hacia aquella de la hidrología humana o de la hidrología de medios bajo fuerte impacto antrópico, interesándose por la parte del ciclo del agua perturbado por las actividades humanas o susceptibles de perturbarlas o modificarlas de acuerdo a las necesidades de la sociedad"*.

Las nuevas formas de gestión deben tender al control de las aguas pluviales, mediante programas que incluyen en control de uso y ocupación del suelo, la aplicación de técnicas de almacenamiento y retención de volúmenes de escorrentía con carácter complementario o alternativo de las convencionales de evacuación, control de la erosión y control de la contaminación pluvial, priorizando en todos los casos la sustentabilidad ambiental del sistema.

Los relativamente nuevos enfoques en la gestión requieren, ineludiblemente, nuevas estructuras organizativas, compatibilización de aspectos jurídicos, etc. Además, se requieren acuerdos interjurisdiccionales entre las distintas administraciones gubernamentales, locales, provinciales y nacionales, ya que el ámbito de aplicación de los programas de gestión afectará, con frecuencia, a varios municipios. Por otra parte el drenaje urbano debe ser complementario de los programas de prevención y control de inundaciones de ámbito más amplio (programas regionales, provinciales o nacionales sobre manejo integral de cuencas hidrográficas, regulación de valles de inundación, control de aportes, ordenamiento territorial, etc.).

1.4.3.1 Aumento del Riesgo de Inundación

El riesgo de inundación es un valor estadístico que permite cuantificar la posibilidad de que los habitantes de una vivienda, un barrio, una ciudad, una región, etc., sea afectada por una inundación ante la presentación de un determinado evento, en nuestro caso una lluvia. La variación del riesgo de inundación es una comparación entre la probabilidad de inundación en un mismo escenario ambientales antes y después de la perturbación producida por la urbanización. El aumento de riesgo de inundación puede producirse fundamentalmente por (Riccardi, 2002):

a) Incremento del Volumen de Escorrentía, de Caudales Máximos y Disminución de los Tiempos de respuesta de las cuencas.

Este efecto combinado de aceleración e incremento de flujo puede deberse a:

- a.1) Modificaciones de las Características Superficiales de la Cuenca, que involucra
 - a.1.1) Sustitución de suelos con vegetación, capacidad de almacenamiento e infiltración por elementos impermeables.
 - a.1.2) Rellenos de bajos húmedos naturales.
 - a.1.3) Crecimiento centrífugo de ciudades.
- a.2) Modificaciones de Cauces Naturales y de la Dinámica Hídrica de la Cuenca
 - a.2.1) Desvíos de cursos.
 - a.2.2) Canalizaciones, canales artificiales, interceptores

La Figura 1.17 muestra los cambios típicos en la hidrología de la cuenca que pueden ser esperados como resultado de la urbanización. En condiciones naturales, las pérdidas de escurrimiento tales como evapotranspiración, interceptación vegetal e infiltración tienden a ser procesos extendidos en el tiempo. En cambio, posteriormente a la urbanización, el incremento en la cantidad de superficie impermeable (techos, calles, estacionamientos y veredas) produce incremento en el volumen y caudal

máximo del escurrimiento superficial. Los pavimentos, cunetas, zanjas y redes de colectores drenan el escurrimiento más rápidamente que en un escenario sin urbanizar. Por otra parte, los alineamientos, rectificaciones de curvas, limpiezas y en casos acortamientos de los canales naturales producen incrementos en las velocidades de flujo. El impacto típico de la urbanización sobre los hidrogramas puede verse en la Figura 1.17 (b). El hidrograma post-urbanización difiere del hidrograma pre-urbanización en tres importantes características (i) el volumen total de escurrimiento es mayor; (ii) el escurrimiento se acelera y (iii) el caudal máximo aumenta. El incremento en el volumen de escurrimiento se origina en el decrecimiento de la infiltración y el almacenamiento superficial, la respuesta hidrológica es más rápida debido al aumento generalizado de la velocidad de escurrimiento y el incremento del caudal máximo es una consecuencia del aumento del volumen en un menor tiempo de

escurrimiento. Este incremento en el caudal máximo para cualquier tormenta significa que un determinado caudal se presentará más frecuentemente que en la situación pre-urbanización. Puede afirmarse que la urbanización tiene un impacto mayor en eventos frecuentes u ordinarios que en eventos extraordinarios. Respecto a los caudales base de los cursos de agua provenientes de aportes subterráneos pueden darse situaciones de aumento y descenso. Debido a que la urbanización hace disminuir la infiltración, el escurrimiento subsuperficial y la recarga de acuíferos, esto puede significar un descenso del caudal del aporte subterráneo al caudal base, en cambio si el proceso de urbanización viene acompañado de riego intensivo el caudal base puede aumentar.

En bibliografía desarrollada por la UNESCO se ejemplifica a través de algunas situaciones medias, el impacto que la urbanización produce en las áreas urbanizadas:

- 0,1 ha de área rural se convierte en urbana per cápita de incremento poblacional;
- Un aumento de la impermeabilidad de 40% produce una disminución del 50% en los tiempos de distribución del escurrimiento y un aumento del 90% del caudal máximo de las crecidas;
- Cuando la densidad poblacional pasa de 0,4 hab/ha a 50 hab/ha los tiempos de distribución de los escurrimientos se reducen a la décima parte y los volúmenes escurridos aumentan diez veces;

Valorizaciones concretas de la perturbación introducida por la perturbación en el sistema hidrológico pueden extractarse de distinta bibliografía. Leopold (1968), en una cuenca de 260 hectáreas estimó que una urbanización total junto a la ejecución de conductos de drenaje en toda la cuenca puede aumentar el caudal pico hasta seis veces con relación a la situación antes de la urbanización (Figura 1.18).

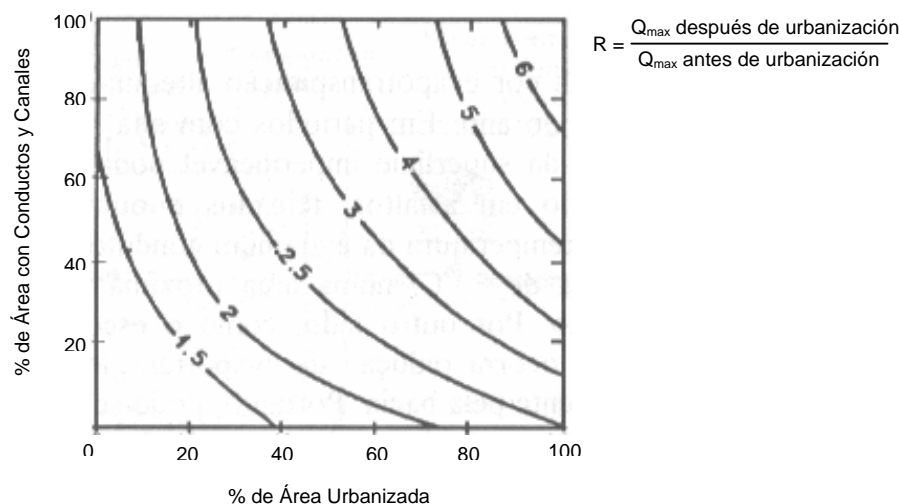


Figura 1.18. Aumento de Caudal Máximo. Fuente: Leopold (1968)

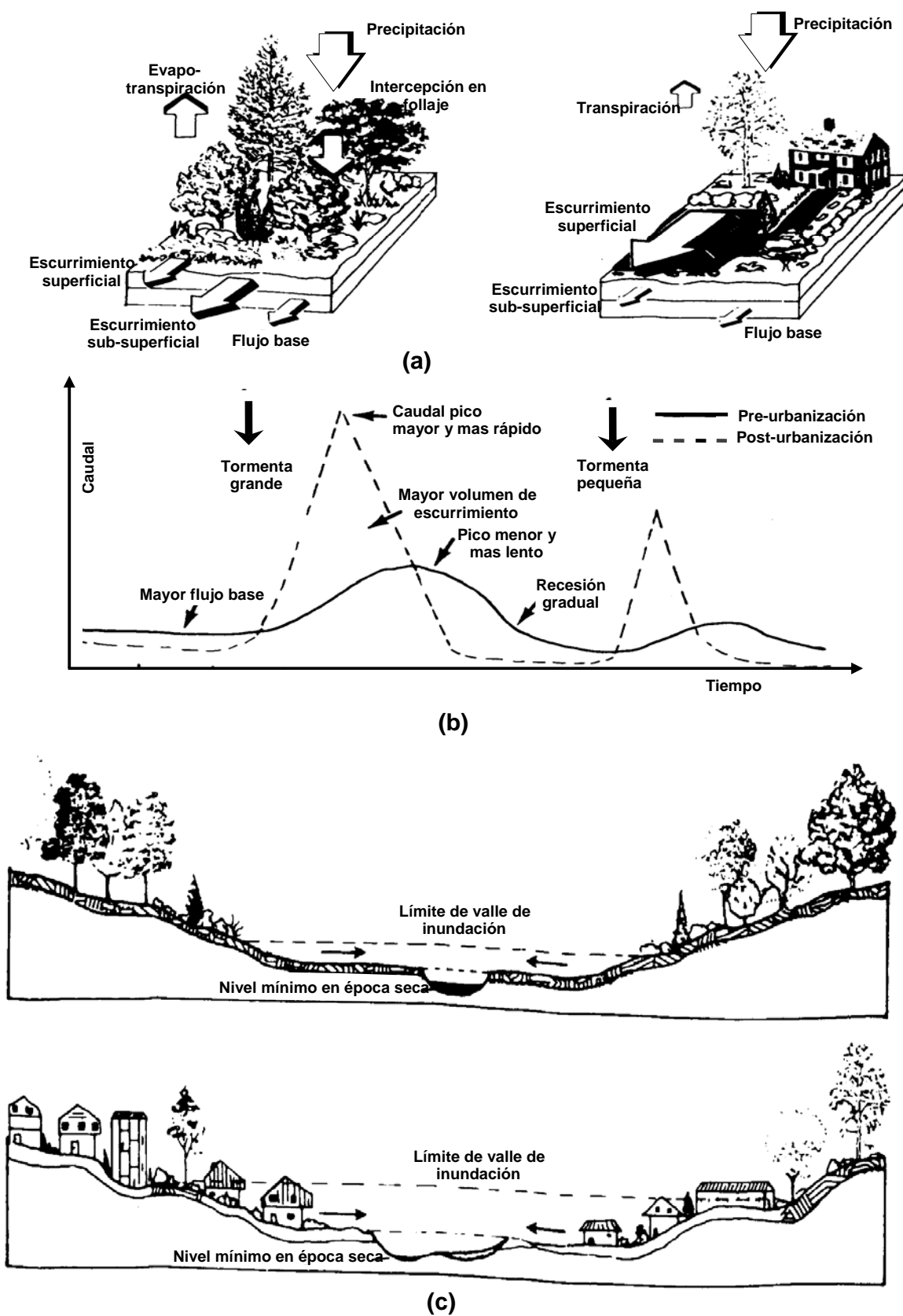


Figura 1.17. Cambios en la Respuesta Hidrológica de la Cuenca debido a la Urbanización
 (a) Balance de Agua; (b) Hidrogramas y c) Geometría del Curso.
 Fuente: ASCE-WEF (1992)

Desbordes (1989) citado por Bertoni et al., (2002), estimó en algunas cuencas francesas que el tiempo de respuesta fue dividido por un factor del orden de 5 a 15 y, en consecuencia, la multiplicación del caudal de punta específico ha sido afectado por un factor variando entre 5 y 50. Tucci (1994) citado por Bertoni et al., (2002) analizó la variación del coeficiente de escurrimiento entre áreas rurales y urbanas, concluyendo que para sectores con urbanización media esta variación puede llegar a valores del orden del 200 %. Para la ciudad de Rafaela, (Argentina) Bertoni (2001) determinó que un crecimiento del 15 % en el porcentaje de urbanización produjo una reducción del tiempo de concentración en un valor de 2.40 y un 100 % de aumento del caudal de punta específico.

En grandes ciudades un factor que condiciona fuertemente los emplazamientos de redes de conductos subterráneos la progresiva utilización del subsuelo para la instalación de cañerías, cableado, etc., de distintos tipos de servicios:

- saneamiento: desagües pluviales y cloacales
- transporte: subterráneos
- servicios: provisión de agua, electricidad, teléfono, gas, semaforización, alumbrado público
- servicios mas selectivos: fibra óptica, tv por cable, internet

Entre las principales ventajas sectoriales del uso del subsuelo urbano podemos citar: relativo costo nulo de ocupación, prestaciones estéticas, aislamiento, no obstrucción de superficie urbana. Se genera una transformación del subsuelo en un yacimiento de espacio urbano

Es claro que los desagües cloacales y pluviales son los más condicionados por el múltiple uso del subsuelo debido a que necesita una compatibilidad con la gravedad. En algunos casos la no planificación del uso del subsuelo torna ciertas obras de infraestructura de desagües totalmente antieconómicas y en ocasiones inviables, debido a las múltiples interferencias con otros servicios urbanos.

b) Ocupación de Zonas Inundables

A pesar de las importantes obras que se han hecho a lo largo de la historia en el mundo para control de inundaciones (diques, canalizaciones y re canalizaciones, embalses de laminación, redes de conductos, etc) a nivel mundial se constató hacia fines del siglo XX que los daños ocasionados por inundaciones siguen creciendo (Temes Peláez, 1995) y los nuevos problemas surgen con un ritmo mayor que la generación de soluciones. Ante tal situación en algunos países (Estados Unidos, Nueva Zelanda, Australia, Canadá (Témez Peláez, 1992), Argentina) se vienen realizando desde la década del 60 no solo medidas estructurales, sino también otras medidas de gestión denominadas no-estructurales y actuaciones de prevención.

Ya en el año 1977 la Oficina de Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro (UNESCO, 1977) en casos de desastres por inundaciones llegaba a las siguientes conclusiones:

- los desastres naturales entre ellos los causados por inundaciones, constituyen un obstáculo para el desarrollo económico y social de las naciones;
- la mayoría de los desastres naturales pueden prevenirse y
- las medidas preventivas prioritarias son al mismo tiempo las menos costosas.

A partir de esta ampliación en el campo de acciones a seguir para la mitigación de inundaciones, una sintética clasificación posible de las actuaciones frente a inundaciones puede ser (Riccardi, 2002):

i) Medidas Estructurales

i.1 Obras: canalizaciones, desvíos, terraplenes, diques, protección de márgenes, conductos, etc.

i.2 Embalses multipropósitos para retención, regulación, recreación, etc.

i.3 Prácticas de conservación de suelos y corrección de cuencas (modificaciones de cobertura vegetal, corrección de surcos, etc.)

ii) Medidas No-estructurales

ii.1 Elaboración de mapas de riesgo de inundación

ii.2 Zonificación de las áreas inundables

ii.3 Sistemas de seguros

ii.4 Regulación legal

iii) Actuaciones de prevención

iii.1 Sistemas de alarma y prevención de crecidas

iii.2 Planes de Defensa Civil ante Inundaciones

Las medidas no-estructurales plantean la *convivencia* entre la población y las inundaciones. Reducen daños y tienden a minimizar los costos de las medidas estructurales. Contemplan la regulación mediante la cual se imponen una serie de prohibiciones y limitaciones al uso y ocupación del suelo dentro de los valles de inundación o zonas inundables de los diferentes cursos de agua.

Existen diversos factores que alientan la ocupación del valle de inundación de cursos de agua tanto pequeños no navegables como importantes ríos navegables:

- i. Las llanuras de inundación son zonas de desarrollo económico
- ii. Se asientan grandes vías de comunicación
- iii. El costo del terreno y los impuestos son relativamente bajos.
- iv. Desconocimiento total o parcial sobre riesgo de inundación.
- v. Las crecidas son de carácter ocasional y excepcional. Pueden perderse en la memoria histórica
- vi. Existencia de obras de protección que pueden inducir a suponer la eliminación del riesgo de inundación.
- vii. Disponibilidad de mayores recursos de agua. Posibilidad de explotación pesquera.

En muchas ocasiones se *contempla a los valles de inundación en mayor medida como un recurso importante de suelo mas que como una zona con riesgo potencial de inundación.*

La elaboración de mapas de riesgo de inundación y la zonificación de las áreas inundables comprenden la delimitación de las líneas de cotas máximas de agua asociadas a determinadas probabilidades de ocurrencia. Surge así el concepto de zonificación que consiste en regular la ocupación y uso del suelo en las márgenes de los cursos de agua estableciéndose por lo general 3 zonas en que se prohíben o restringen con distinto grado de severidad, los usos del suelo para actividades urbanas, industriales, agrícolas y emplazamientos de vías de comunicación (Riccardi, 1997a y b; Riccardi et al., 1997).

Algunos criterios generales establecen las siguientes zonas para la determinación de áreas de riesgo:

Zona con prohibición total: es la zona por la que circula el agua en las máximas crecidas ordinarias, y se corresponde con la zona definida con el concepto de cauce público. En esta zona no se permite ningún tipo de ocupación ni uso.

Zona con restricciones de los usos del suelo: es la zona con mayores afectaciones por las crecidas y su límite puede definirse por la crecida asociada a un período medio de retorno de 100 años. En esta zona se establecerán restricciones importantes de los usos del suelo, y en función de los valores de cotas de agua y velocidades y de las obstrucciones del flujo, se planificarán las características y densidades de las edificaciones, estableciendo un reglamento para las construcciones (niveles de fundaciones, de sótanos, de pisos, tipología estructural, etc.)

Zona con restricciones parciales de los usos del suelo: es la zona que puede ser afectada por las crecidas máximas extraordinarias, y su límite se puede definir por ej. por la crecida de 500 años de período medio de retorno. En esta zona las restricciones de los usos del suelo serán menos limitativas, permitiéndose mayores densidades, y características de las edificaciones menos estrictas, con continuidad con los límites de la zona anterior asociada a 100 años. Alternativamente podrían ser zonas sin restricciones y con una norma general de construcción, notificándose en todos los casos los peligros que pueden suponer las inundaciones.

En algunos países del mundo se han diseñado líneas de ordenación de los límites de zonas inundables de acuerdo al concepto de "floodway" utilizado por la Agencia Federal de Gestión de Emergencias de Estados Unidos (FEMA) para la aplicación de un programa nacional de seguros ante inundaciones. En estas normas se definen en base la crecida de 100 años el concepto de *vía de intenso desagüe* y con la crecida de 500 años de período de retorno el concepto de *zona de inundación peligrosa*.

En todos los casos se deben complementar las zonificaciones con sistema de seguros, normativas de concesión de hipotecas, planes de adquisición pública de zonas inundables, etc., teniendo en cuenta que el objetivo final es preservar la vida humana y reducir los daños producidos por inundaciones. En la Figura 1.19 se muestra un esquema de zonificación.

Por otro lado la práctica de la implantación de zonificaciones en las márgenes de los ríos se presentan importantes dificultades que pueden originarse entre otros, a los siguientes factores:

- i. Características ocasional e incierta de las crecidas e inundaciones
- ii. Incompatibilidad con el desarrollo urbano e industrial en zonas con grandes presiones de la demanda.
- iii. Necesidad de elaborar formulación *integral* con una importante coordinación y acuerdo entre diversos organismos públicos y privados

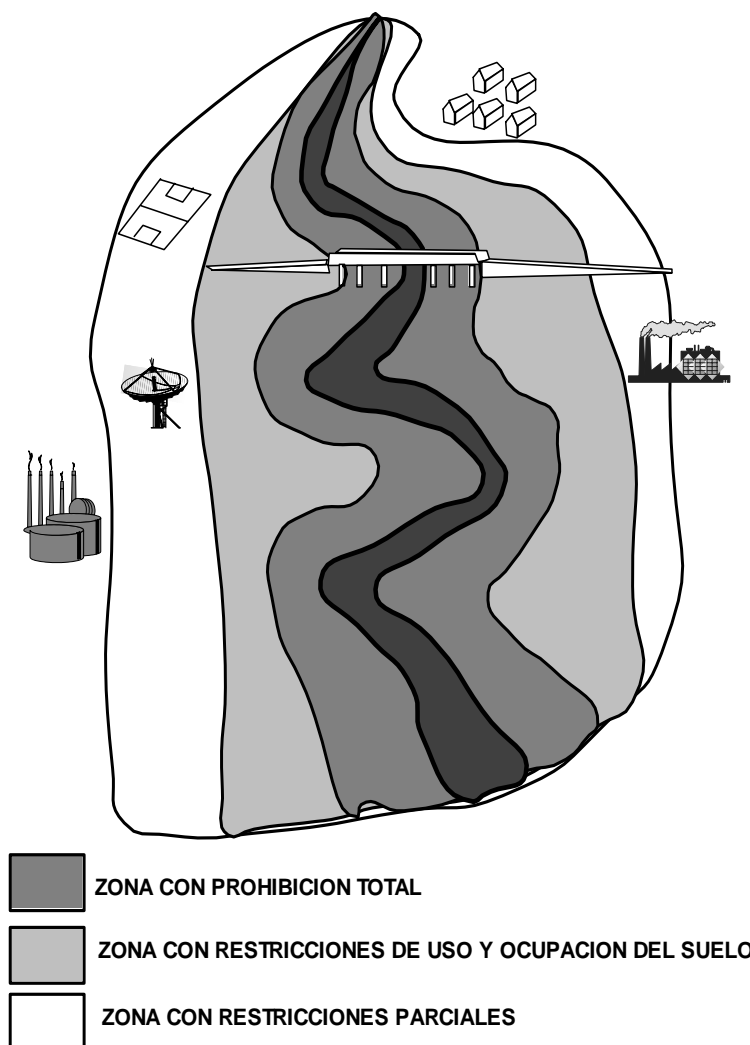


Figura 1.19. Esquema de básico de Zonificación. Fuente: Riccardi, 2002.

1.4.3.2 Decrecimiento de la Calidad del Agua Superficial y Subterránea

Históricamente el diseño de sistemas de drenaje urbano se resolvía sin considerar el efecto sobre el cuerpo receptor de agua. A medida que fueron creciendo las aglomeraciones urbanas conjuntamente con el aumento de escorrentía, decreció también la calidad del agua superficial. Paralelamente se fueron detectando efectos acumulativos de contaminación que produjeron importantes deterioros en los cuerpos de agua receptores y en acuíferos poco profundos. Puede afirmarse que el deterioro de la calidad de agua es una consecuencia directa del uso de la tierra y de las urbanizaciones planificadas inadecuadamente. Además un fenómeno más moderno como lo es el control y regulación de riego y drenaje en áreas rurales con explotación agrícola intensiva ha agregado otro factor de deterioro de la calidad del agua superficial rural y urbana (Riccardi, 1998).

A diferencia de los tradicionales abordajes de problemas de protección contra crecidas donde se estudian eventos extremos (de máxima), asociados a recurrencias de diseño, el impacto de los escurrimientos pluviales sobre calidad está relacionado básicamente al primer flujo y/o efectos acumulativos de una gran cantidad de tormentas de pequeña magnitud. Estudios realizados en diferentes cuencas urbanas indican que un 85 a 90% de las tormentas que han producido impactos considerables tienen recurrencias menores a 1 año (Alvarez Días, 1996) (Laurence et al., 1996). Es claro que en los estudios hidrológicos e hidráulicos no sólo se debe enfocar el caso de eventos extremos, sino que es necesario describir el escurrimiento producido por todo tipo de precipitaciones

Las actividades humanas como por ej. tráfico de vehículos imponen una severa carga de contaminantes en áreas impermeables. La aplicación de fertilizantes, herbicidas y pesticidas en zonas permeables (zonas parquizadas, zonas de quintas de producción agrícola) y la posible propagación a zonas impermeables por salpicado, spray, etc. contribuyen a la contaminación del paisaje urbano. Gran parte de las deposiciones de contaminantes se movilizan mediante el escurrimiento y son transportadas hacia los cuerpos receptores y en casos infiltran y percolan hacia acuíferos. Cuanto más se alteren las condiciones de escurrimiento, especialmente disminuyendo el tiempo de concentración del flujo (aumentando velocidad del escurrimiento) mayor será el proceso de movilización.

Acciones antrópicas tales como:

- el sucesivo reemplazo de vías de drenajes naturales vegetadas y valles de inundación con conductos y canales impermeables y
- relleno de depresiones naturales y bajos húmedos

disminuyen la capacidad natural de intercepción del sistema de los elementos constitutivos del escurrimiento (sólidos, sólidos en suspensión, contaminantes) y además, aumentan el volumen de escorrentía y los valores máximos de caudales (aumento de Q_{pico} y disminución de tiempo de concentración). Estas dos alteraciones y muy especialmente en tormentas pequeñas y de gran intensidad producen un mejoramiento en la capacidad de transporte y de removilización de los constituyentes del escurrimientos aumentando los niveles de contaminación aguas abajo.

Los contaminantes y parámetros físico-químicos-biológicos indicadores de contaminación que se han reportado en múltiples informes son (Riccardi, 1998) :

Sólidos en Suspensión
Demanda Química de Oxígeno
Demanda Biológica de Oxígeno
Bacterias Totales Y Colifecales
Nitrógeno
Fósforo
Plomo
Zinc
Cadmio
Cobre
Hidrocarburos

La calidad y el hábitat de los cuerpos de agua receptores se definen en función de características físicas, químicas y biológicas. Los cuerpos receptores no solo son afectados por las descargas ya sean en tiempo seco como lluviosos, sino también por el desarrollo histórico de la cuenca y el funcionamiento actual del sistema incluyendo el propio cuerpo receptor.

La escala de tiempo de los efectos de los contaminantes sobre los cuerpos de agua receptores es un factor esencial a ser considerado. El tiempo medio de recupero de la calidad de agua de cuerpos receptores para el caso de desagües pluvioocloacales para lluvias de baja recurrencia (5-10 eventos por año) es de aproximadamente 5 a 7 días., en este período se produce la mayor deflexión de oxígeno y aporte de materia orgánica. Estas características indicarían una violación a los parámetros máximos de calidad en por lo menos 25 a 70 días del año. En el caso de los desagües pluviales el tiempo de recupero es del orden de 1 a 2 días por lo que la superación de los valores admisibles máximos es de por lo menos 5 a 20 días al año.

Los efectos sobre los cuerpos receptores pueden clasificarse en agudos y acumulativos o crónicos, según el tiempo de afectación. En la Figura 1.20 se presentan esquematizados las escalas de tiempo de

los efectos de los principales contaminantes observados en desagües pluvio-cloacales y desagües pluviales. Vinculado con la escala temporal de los efectos se han determinado dos formas características de definir la concentración de contaminantes: la concentración media por evento (CME) y la concentración media en el sitio (CMS). Cuando el efecto es agudo el impacto provocado por eventos aislados es importante en especial aquellos eventos extremos. Las máximas concentraciones CMEs se presentan en los primeros minutos del escurrimiento verificándose en los 12-15mm iniciales de escurrimiento directo, decreciendo posteriormente para el resto del escurrimiento. Además en lo referente a sólidos en suspensión se ha comprobado que el 65-75% de total se concentra en el 25-30% del volumen inicial del escurrimiento. Cuando el efecto es de tipo acumulativo, resulta de importancia evaluar la descarga en un período de tiempo suficientemente largo como por ej. 1 año. En estos casos la diferencia de concentraciones entre eventos no es importante, y la descripción puede ser realizada mediante la relación de las CMSs y el volumen total descargado.

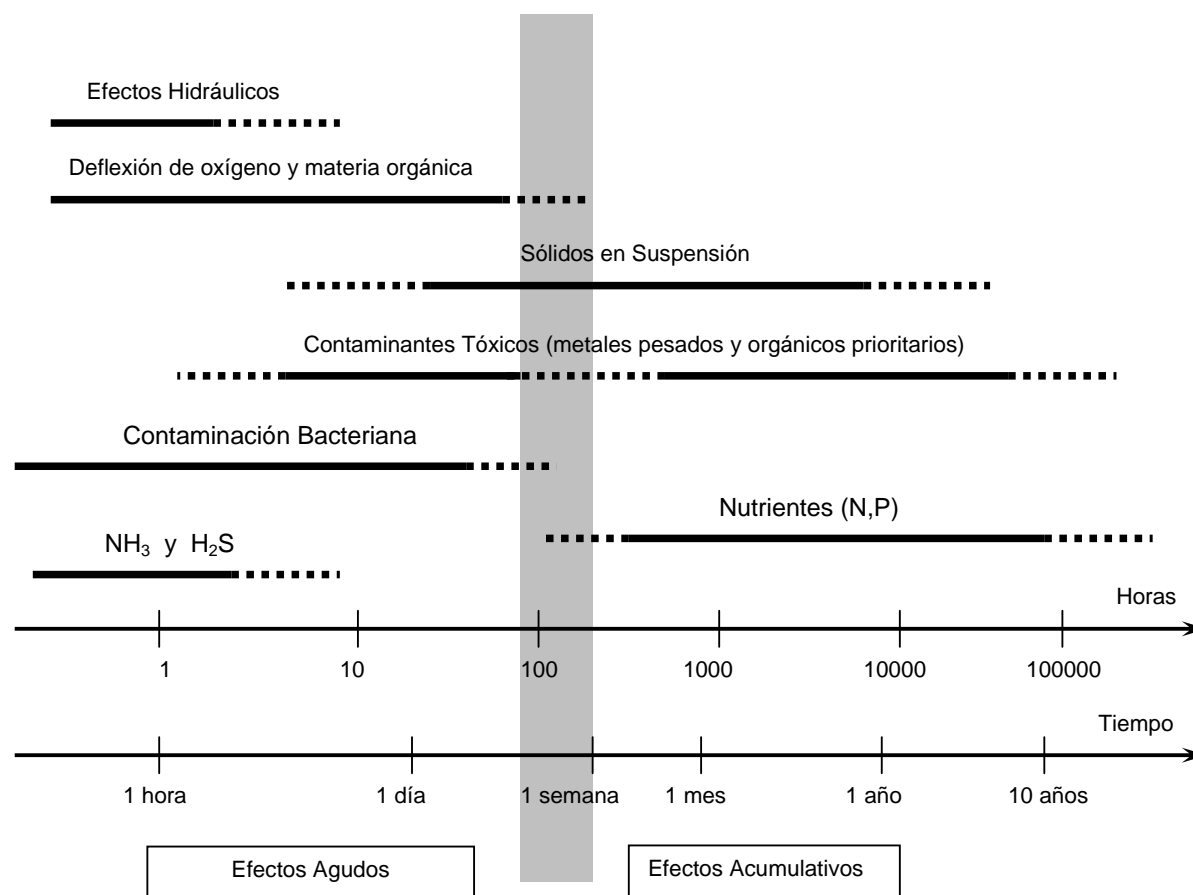


Figura 1.20. Escala de tiempo para los Efectos en Cuerpos de Agua Receptores producidos por Descargas Intermitentes. Fuente: Ellis y Hvitved-Jacobsen (1996).

Las múltiples respuestas de los cuerpos de agua receptores ante el vertido de contaminantes mediante desagües pluvio-cloacales o pluviales son el resultado de diversas interacciones que comprenden:

- Procesos Físicos, por ej. mezcla, dilución, sedimentación, erosión, efectos térmicos y reaeración
- Procesos Bioquímicos y Físicoquímicos como transformación de materia orgánica, adsorción y desorción de metales pesados y microcontaminantes orgánicos
- Procesos Biológicos como desaparición de bacterias y virus y cambios en comunidades de microorganismos

Los procesos generados en días lluviosos se superponen con las variaciones de procesos habituales en tiempo seco (sin descarga). La combinación de las modificaciones en los hábitat físicos y la alteración de la calidad de agua producida por la descarga de los drenajes urbano debe ser reconocida como la mayor consecuencia ambiental del escurrimiento urbano.

En función de los procesos presentes en los cuerpos de agua receptores, la evaluación de los impactos debe realizarse en términos de las características individuales en cada lugar, debiendo abarcar :

- Cambios en el hábitat físico
- Cambios en la calidad de agua
- Riesgos de la salud pública
- Deterioro estético y Percepción pública

Cada parte del sistema tiene sus propias características por lo que la búsqueda del conocimiento debe direccionarse hacia el análisis del sistema completo para identificar los motivos por los cuales no puede ser alcanzado un determinado nivel de calidad y hábitat y en función de ello proponer soluciones estructurales y no-estructurales para el mejoramiento. En términos globales, se considera que el desafío actual es lograr tanto en los cuerpos de agua receptores como en obras al aire libre de detención y/o retención del escurrimiento diferentes ecosistemas estables y áreas con valores recreacionales y amenidad. Las nuevas demandas de la sociedad en general se canalizan por medio de accionares de organismos gubernamentales (ejecutivos y legislativos), instituciones públicas y privadas, estamentos políticos, por lo que científicos, planificadores urbanos e ingenieros proyectistas necesitan generar metodologías y herramientas apropiadas que permitan elevar la calidad del agua de escurrimiento pluvial y pluvicloacal para arribar a un nivel de desarrollo un tanto mas sustentable y equilibrado hidroambientalmente.

1.4.3.3 Incremento de Procesos de Erosión-Sedimentación

Los procesos de urbanización si no han sido acompañados de una adecuada planificación previa, implicarán un proceso de erosión superficial, acompañado de deposiciones en los cuerpos de agua receptores, en particular en sistema de macrodrenaje aluvionales de baja pendiente (Lloret Ramos, 1995).

Resulta claro que toda urbanización que genere principalmente aumento de velocidades de flujo motivado por incremento de caudales máximos tenderá a producir procesos erosivos en todas las vías de desagüe donde haya sido alterada la velocidad y no se hayan tenido en cuenta las medidas mitigadoras (por ej. acciones de control de erosión). Asumiendo que un determinado sistema está en equilibrio en lo que concierne a procesos erosión-sedimentación, todo incremento de velocidades de flujo traerá consigo un aumento de probabilidad de erosión hídrica.

Las erosiones en cuencas urbanas presentan características bastante diversas a las correspondientes a cuencas rurales tanto en el proceso físico como en las extensiones de las áreas involucradas. Desde el punto de vista de la inestabilidad morfológica de los cursos de agua, la erosión rural tiene un carácter más extensivo que las erosiones urbanas, presentando por lo tanto, tasas específicas de producción de sedimentos (volumen de sedimento/unidad de área) inferiores a las urbanas.

Un proceso de sedimentación en cuerpos de agua puede ocurrir dentro de un proceso natural de reducción de capacidad de transporte sólido, asociado en general a la reducción de los niveles de energía de la corriente hídrica. Un ejemplo clásico del proceso es la sedimentación en desembocaduras de ríos en estuarios, lagos o reservorios artificiales. Este proceso puede ser acelerado en correspondencia con ocupaciones inadecuadas en la cuenca de producción de sedimento que produzcan un aumento del aporte de material sólido. Además, la construcción de embalses temporarios o permanentes también producirá la detención del escurrimiento propiciando situaciones hidráulicamente favorables para la sedimentación.

La rápida conversión de tierras naturales o con usos agrícolas a usos urbanos puede derivar en la desaparición total o parcial de la capa superior del suelo, lo cual puede acelerar los procesos de erosión-sedimentación. El sedimento generado a través de procesos constructivos de obras (excavaciones, rellenos, terraplenamientos, etc) puede ser una fuente de contaminación, colmatación y pérdida de capacidad de almacenamiento y/o conducción aguas abajo en lagos, cursos de agua, y reservorios como así también puede originar grandes depósitos en calles, terrenos públicos que funcionan

como vías de desagüe, canales urbanos de drenaje y redes de conductos. La mayor erosión potencial de coberturas de suelos se presenta en el período de tiempo comprendido entre el proceso de remoción de la vegetación original de los sitios de emplazamiento de las obras y hasta que se procede a la restitución de la cobertura vegetal (ASCE-WEF, 1992).

En la Figura 1.17.c se esquematiza una perturbación típica en la que al desarrollarse la urbanización se aumenta el caudal máximo asociado a un mismo evento, este caudal mayor transitará con una velocidad de flujo mayor a la correspondiente a la situación original, si las fuerzas originadas en el escurrimiento estaban en equilibrio con las fuerzas resistentes del cauce, el aumento de velocidad trae consigo una situación de desequilibrio en la cual el cauce será erosionado hasta alcanzarse otro estado de equilibrio.

En lo referentes a redes de conductos para desagües pluviales como pluviocloacales existen sedimentos que causan problemas en el drenaje. Estos problemas incluyen la pérdida de la capacidad hidráulica y la concentración y transporte de contaminantes. Además los sedimentos son una fuente de septicidad generalmente acompañada por gases y producción de ácido corrosivo. Esto lleva a un riesgo de lavado en los cuerpos receptores y sobrecarga en las plantas de tratamiento. Por otro lado el sedimento capturado en obras de control y tratamiento de sistemas pluviales y pluviocloacales, produce fuertes impactos en las obras y en su lugar final de deposición, equivalentes a los impactos que produce el sedimento en el escurrimiento. Esta problemática del sedimento en sistemas de desagües es muy compleja a causa de la heterogeneidad de la naturaleza de los mismos. Por un lado los sedimentos más gruesos se depositan en los conductos haciendo disminuir su capacidad hidráulica, los finos que tengan alto contenido orgánico son probablemente los principales vectores de transportes de microcontaminantes.

Para mitigar y controlar los procesos de erosión y sedimentación se recurre a medidas no-estructurales y estructurales. Las primeras incluyen por ej. en el caso de construcciones de obras, reglamentaciones para limitar la extensión de zonas de vegetación naturales desmontadas, limitaciones en el tiempo de construcción en el cual el sitio de emplazamiento de las obras es vulnerable a la erosión y pautas de revegetación durante los períodos de construcción de las obras. Las acciones estructurales pueden incluir estructuras para disminuir la velocidad de flujo, protección de márgenes y estructuras en general, trampas de sedimentos, etc.

1.5 EVOLUCIÓN DEL DRENAJE URBANO EN ARGENTINA (extractado de Bertoni, 2001)

A lo largo de su evolución histórica la hidrología y el drenaje de medios urbanos han pasado por diferentes etapas. Desde sus orígenes el proceso de urbanización debió hacer frente a graves problemas epidemiológicos resultantes de la concentración de la población, lo explica la concepción *sanitarista* inicial de la hidrología urbana. Desbordes (1987) citado por Bertoni (2001), identifica tres períodos esenciales de la hidrología urbana en los países desarrollados :

- (i) Una etapa inicial ligada al concepto *sanitarista* ("higienicista") del drenaje de las ciudades;
- (ii) Una etapa transitoria caracterizada por la racionalización del cálculo hidrológico-hidráulico y la normatización de estudios y proyectos, y
- (iii) La etapa actual ligada al enfoque científico y ambientalista del drenaje urbano.

Según Lopes da Silveira (1998) citado por Bertoni (2001), las características de las dos primeras etapas han facilitado la transferencia tanto de los métodos de cálculo como de la concepción de obras desde los países desarrollados hacia los países más pobres. Siendo una antigua colonia europea, Argentina ha recibido desde la segunda mitad del siglo XIX la influencia del progreso registrado en los países desarrollados. Argentina inició su etapa *sanitarista* con un retardo muy reducido en relación a Europa, sobretodo si se considera la distancia y la calidad de las comunicaciones de la época. A lo largo del siglo XX este defasaje temporal lamentablemente se ha tornando cada vez mayor.

La situación Argentina actual es el resultado de una mezcla de acciones no coordinadas, donde coexisten algunos objetivos inalcanzados de la etapa de normatización de los cálculos y de esfuerzos, mayormente aislados, que se inscriben en la tercera etapa del enfoque científico y ambientalista.

Es difícil afirmar si Argentina ha efectivamente pasado por las tres etapas para los países industrializados. La deficiencia más importante está asociada a la tercera etapa concerniente al enfoque científico y ambientalista. Entre otras causas, la falta crucial de datos hidrológicos en áreas urbanas ha conducido a una limitación notable de los progresos de las investigaciones científicas. Es posible, sin embargo, anali-

zar la secuencia de acciones que desde 1850 han contribuido al avance del drenaje urbano en el país siguiendo para ello el esquema de las tres fases antes apuntadas.

1.5.1 Etapa del concepto sanitarista ("higienicista")

La primera red "moderna" de drenaje urbano fue construida en Hamburgo, en 1843, en ocasión de la reconstrucción de la ciudad luego de un gran incendio (Chocat, 1997 citado por Bertoni (2001)). En Buenos Aires la primer persona en difundir hacia 1830 los primeros ensayos de la idea sanitarista fue el ingeniero italiano Carlos Pellegrini. El mismo propuso en 1853 la construcción de obras de captación desde el río de la Plata. Radovanovic y Tartarini (1999) citado por Bertoni, (2001) destacan que en aquella época Buenos Aires era una ciudad sucia, de calles estrechas, con pocos jardines públicos y con frecuentes problemas epidemiológicos.

En los inicios de la segunda mitad del siglo XIX fue el ingeniero francés Eugène Belgrand quien creó en París el concepto del drenaje moderno. Chocat (1997) citado por Bertoni (2001), destaca que Belgrand inició en 1854 la construcción de aproximadamente 400 km de alcantarillado sanitario con escurrimiento conjunto (unitario) de las aguas pluviales y de las aguas negras. El método continuo de circulación ocupó rápidamente un espacio en toda Europa.

En Buenos Aires el Ing. Sourdeaux presenta en 1861 el primer plan general de alcantarillado pluvial de la capital argentina que comprendía la colecta y el transporte de las aguas de origen pluvial, no considerando prioritario la evacuación de las aguas servidas y remitió esta obra para el futuro (Radovanovic et Tartarini, 1999 citado por Bertoni (2001)). En 1867 el cólera provocó el pánico en la población de Buenos Aires, y fue fundamental para la incitación a los estudios definitivos de carácter sanitarista que habían sido defendidos algunos años antes por Carlo Pellegrini.

En 1869 el ingeniero inglés John Coghlan presenta el primer proyecto de drenaje urbano de la ciudad de Buenos Aires inspirado en los modelos "unitarios" implantados en las principales ciudades europeas. El proyecto proponía el aprovisionamiento de agua filtrada, la construcción de un sistema de alcantarillado y la pavimentación de las calles. El plan original incluía la colecta de las materias fecales y también de las aguas usadas y pluviales hacia conductos construidos a lo largo de las calles, con su utilización posterior para riego. El proyecto consideraba que los excesos de origen pluvial serían desviados hacia los arroyos y ríos más cercanos (Buenos Aires, 1869 citado por Bertoni (2001)). Esta vasta red subterránea era completada por canales y bocas de tormentas que permitirían la captación del agua de lluvia (dos en todas las intersecciones de las calles), como así también de cámaras de inspección que permitirían la inspección y ventilación de los conductos. Ya en aquella época el destino final de los efluentes era motivo de fuertes discusiones técnicas (Radovanovic et Tartarini, 1999 citado por Bertoni (2001)).

En 1871 el ingeniero inglés John Bateman amplía la zona servida y define las descargas finales hacia el río de la Plata. En 1872 se crea la Oficina Meteorológica Argentina, una de las primeras del mundo, que más tarde se transformaría en el Servicio Meteorológico Nacional.

Daniele (2001) cita que en 1888 la ciudad de Rosario concede los servicios de drenaje a empresas privadas (Consolidated Waterwork Company of Rosario y Rosario Drainage Company Ltd). La concesión incluye los servicios de agua, cloacas y desagües pluviales. Se ejecutan 13 túneles. Las obras (sistema unitario, del radio antiguo) fueron parcialmente habilitadas en 1899.

Los problemas derivados de la expansión espacial de Buenos Aires y de la insuficiencia de su red de alcantarillado se hacen sentir rápidamente: por un lado la ciudad recibe una gran cantidad de inmigrantes y por otro lado sufre con los retardos en la construcción de las obras. El plan Bateman, concebido para 400.000 habitantes es concluido recién en 1905 cuando la ciudad ya contaba con 1.000.000 de habitantes. Los problemas asociados al crecimiento de la ciudad continuarían incrementándose con el tiempo.

El cambio de concepción del sistema "unitario" al sistema "separativo" se instaló definitivamente en Buenos Aires en 1908, con la aprobación de la ley que preveía las reglas de alcantarillado para toda la extensión del territorio federal, contemplando una población de 6.000.000 de habitantes. Las aguas de lluvia ya no serían captadas hacia los conductos cloacales sino que se redireccionarían por el sistema de cordón-cuneta y conductos específicos hacia el río de la Plata o sus afluentes más cercanos (Vela Huelgo, 1937 citado por Bertoni (2001)). Los principales objetivos del plan de 1908 fueron recién alcanzados en 1922.

Dentro de las acciones encaradas por la Dirección General de Obras de Salubridad de la Nación se proyectan en 1904 los primeros desagües pluviales para la ciudad de Córdoba. Se ejecutaron cuatro ramales principales con descargas al río Primero (actual río Suquía). Los proyectos contemplaron conductos circulares de hormigón de 0.50 a 0.90 m de diámetro y modelos especiales (bóvedas) para las secciones de mayores dimensiones.

1.5.2 Etapa de “racionalización” de los cálculos y de “normatización” de los estudios y proyectos

La creación en 1912 de Obras Sanitarias de la Nación (OSN) constituye el primer paso hacia la racionalización de los cálculos y la normatización de los proyectos de drenaje urbano en todo el país. Este organismo del Estado coordinó en forma efectiva los proyectos y las obras de drenaje urbano hasta la década de los años 60. Entre los grandes proyectos fundadores cabe destacar el de 1923, dirigido por el ingeniero Antonio Paitoví, quien previó la extensión y generalización de los servicios de aprovisionamiento de agua y cloacas para Buenos Aires, incluyendo un proyecto de desagües pluviales para todo el municipio (OSN, 1924 citado por Bertoni (2001)).

En 1924 el Ing. Paitoví dirige también el proyecto de saneamiento pluvial de la región central de la ciudad de Córdoba con una extensión de la red inicial. En 1929 OSN desarrolla para Córdoba el proyecto de ampliación de los sumideros existentes en la región central de las redes existentes. Desde entonces y en forma paulatina las obras de drenaje urbano se fueron desarrollando en las restantes ciudades del interior del país.

En 1930 se concluyen en Rosario las obras del sistema unitario del radio antiguo, que siguen en servicio en la actualidad. En 1924 Rosario contaba con 356.000 habitantes. El 80 % de la población contaba ya con servicios de desagüe. A partir de entonces la ciudad se expande significativamente y comienza a sufrir con las insuficiencias del servicio. El Municipio ejecuta obras en los barrios, para paliar el déficit. En 1948 se firma el convenio de venta entre las compañías concesionarias y la Administración General de OSN. Desde allí OSN se hace cargo de los desagües pluvio-cloacales dentro del radio antiguo, pero no asume compromisos respecto de los demás sectores de la ciudad.

A pesar de la existencia desde 1872 de la Oficina Meteorológica Argentina, la utilización de la información pluviográfica a través de curvas intensidad-duración-frecuencia (i-d-f) solo se concreta varias décadas después. Todo pareciera indicar que en la década de los años 40 se adopta en el país el enfoque “razonado” de la Fórmula Racional. Los primeros trabajos con i-d-f se realizaron empleando la base de datos de la ciudad de Louis-Ville (Kentucky-USA). El Método Racional se comenzó a utilizar con un coeficiente de escurrimiento constante igual a 0,50 combinado a una lluvia de 60mm/h durante 30 min. Estos parámetros fueron empleados para dimensionar las obras de drenaje pluvial de Buenos Aires.

El trabajo de Agostini (1942) citado por Bertoni (2001), que implicó la determinación de la relación intensidad-duración ligada a los caudales máximos de Buenos Aires, parece ser uno de los primeros donde el concepto de tiempo de concentración (asociado al Método Racional) fue llevado en consideración. El mismo fue estimado como la relación entre la longitud del canal principal de la cuenca y una velocidad media definida mediante ponderación de las distintas partes del sistema de drenaje.

Lopes da Silveira (1996) citado por Bertoni (2001) describe para la misma época la puesta en marcha de la Fórmula Racional en Brasil. Las condiciones de aplicación del Método Racional mejoraron progresivamente sobre las ciudades brasileñas en base a un fuerte esfuerzo encarado desde 1957 por el Ing. Otto Pfafstetter, del Departamento Nacional de Obras de Saneamiento de Brasil (DNOS). En contrapartida, el retardo en el tratamiento y difusión de las curvas i-d-f correspondientes al territorio argentino fomentan la utilización de la Fórmula Racional a partir de la extrapolación geográfica de los valores de intensidad de lluvia. A falta de datos hidrológicos esta extrapolación se torna abusiva y contribuye además para generar otro exceso: el uso de la fórmula Racional se extiende a las estimaciones de caudales correspondientes a cuencas hidrográficas de varias decenas de Km².

En Rosario OSN elabora en 1960 el proyecto ejecutivo del Emisario sur, que cubre con los requerimientos del sector ubicado inmediatamente al sur del radio antiguo. El mismo año, la municipalidad encomienda al Ing. León Miglierini, la elaboración de un estudio integral del saneamiento pluvial. La versión inicial del Plan Integral (1961), asumía las instalaciones del radio antiguo y del flamante proyecto del Emisario Sur, y proponía otros 10 emisarios. El Plan propiciaba la adopción del sistema separativo. Entre 1961-1971 la municipalidad comienza la construcción de varios emisarios. (Danielle, 2001).

OSN mantuvo la uniformidad de criterios en todo el país hasta fines de la década de los años 60. A partir de entonces los problemas económicos del país redujeron progresivamente el accionar e influencia de

OSN. En 1969 OSN transfirió las instalaciones de desagües pluviales de la ciudad de Córdoba al municipio. Un proceso similar se siguió en otras ciudades. Los municipios comenzaron así con la iniciativa de resolver por sí mismos sus problemas de drenaje urbano. Se siguió en todos los casos el concepto "*separativo*", dado que el mismo ofrecía costos de ejecución más bajos.

Aislados y con técnicos de formación profesional muy variable, los municipios resolvieron sus problemas sin tener en cuenta el impacto sobre el medio ambiente más allá de sus límites territoriales. Las administraciones provinciales y nacionales generalmente no fueron asociadas a la discusión de los problemas. En todos los casos imperó el proceso repetitivo de aplicación del concepto *sanitarista* de evacuación rápida de las aguas de lluvia.

Según Chocat (1997) citado por Bertoni (2001), los países desarrollados han experimentado también hasta la mitad de los años 70 los problemas derivados del crecimiento de la urbanización y de la utilización sistemática del concepto *sanitarista*. Sin embargo, los frecuentes desbordes de las redes impuso la puesta en marcha de un nuevo concepto para la gestión del drenaje pluvial urbano. Este último, calificado por el grupo *Eurydice* 92 (Chocat, 1997 b citado por Bertoni (2001)) de "*hidráulico*", posee como objetivo el retardo del flujo a fin de reducir la magnitud de los caudales de punta del escurrimiento superficial. En Francia, la "*Instrucción Técnica Interministerial*" de 1977, que es ejemplo de la existencia de una política nacional en materia de planificación y drenaje urbano, propuso por primera vez una alternativa a la red de conductos: *los reservorios reguladores y retardadores de flujo*. En Argentina este concepto *hidráulico* opuesto al concepto *sanitarista* tradicional iniciaría su difusión quince años más tarde.

Después de la mitad de la década de los años 70 se registran en el país los primeros intentos en la aplicación de algunos modelos matemáticos hidrológicos, sobretudo en cuencas rurales. Este proceso se desarrolla con un desfase muy reducido en relación a los países desarrollados (más específicamente, en relación a los Estados Unidos). Progresivamente son introducidos en el país nuevos métodos, principalmente de origen norteamericano, que se extienden a la hidrología urbana. Los progresos de la informática permiten una difusión rápida de los mismos. A pesar de ello, la ausencia de datos hidrológicos impide la realización de una validación y/o adaptación a las condiciones locales. En consecuencia, tampoco se genera una reflexión técnica sobre eventuales modificaciones.

1.5.3 La etapa del enfoque científico y ambientalista del drenaje urbano

En los países desarrollados esta etapa es caracterizada por el vigor de la conciencia ambientalista. En consecuencia de ello se intensifican:

- (i) Los estudios de modelización matemática que tienen por objetivo cuantificar los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua;
- (ii) Los aspectos ligados a la calidad del conjunto de desechos urbanos;
- (iii) El desarrollo de técnicas alternativas, y
- (iv) aspectos legales relativos al escurrimiento pluvial en los documentos de urbanismo. La mayor parte de estos estudios se basan en un desarrollo destacado de la metrología hidrológica e hidráulica en áreas urbanas.

En Argentina se están difundiendo poco a poco ideas innovadoras en relación al manejo del drenaje pluvial. Las mismas se basan fundamentalmente en el empleo de medidas estructurales y no estructurales que tienden a minimizar el impacto hidrológico de la urbanización.

En lo que respecta a las obras de amortiguación basadas en el concepto de reservorios de retención, los estudios se han multiplicado en diversos centros urbanos a partir de 1992. Entre las ciudades argentinas pioneras en la aplicación de estas técnicas de retención se destaca Córdoba. En esta ciudad desde 1995 se están encarando obras de amortiguación y retardo ligadas a plazas y paseos. También se ha incorporado la exigencia de minimizar el impacto hidrológico por la impermeabilización del suelo urbano a industrias y comercios de grandes dimensiones. Por su parte, la ciudad de Rafaela ha avanzado en esta concepción adquiriendo terrenos urbanos susceptibles de inundación con el fin de desarrollar obras de regulación del flujo.

Sin embargo, cabe resaltar que cuando se propone este tipo de obras a nivel general de los loteos (captación de toda una cuenca urbana), la concreción de este tipo de obras debe enfrentar un obstáculo importante: la necesidad de expropiación de terrenos en el marco de una política inmobiliaria liberal no propensa a reconocer límites. A propósito de ello Guglielmo (1996) citado por Bertoni (2001) observa

que: "en Argentina la propiedad privada se transforma en un elemento sensible, máxime dentro de un contexto donde la expropiación se limita generalmente a los proyectos viales".

La ciudad de Buenos Aires también ha encarado dentro de su actual Plan Director de drenaje pluvial el estudio de este tipo de obras a nivel de loteos, fundamentalmente en zonas altamente urbanizadas. Secchi et al. (2001) citado por Bertoni (2001) han analizado el empleo de reservorios ligados a bocas de tormentas en las ciudades de Santa Fe y Rosario. Los autores han previsto su aplicación también en áreas pilotos de la ciudad de Buenos Aires. Depettris y Pilar (2001) citado por Bertoni (2001) han analizado el uso de medidas no estructurales para el control del aumento de las áreas impermeables de la ciudad de Resistencia. Maza y Escobar (2001) citado por Bertoni (2001) han analizado medidas para lograr la sustentabilidad hidrológica en el desarrollo urbano pedemontano próximo a Mendoza.

Todas estas acciones tienden a lograr el denominado "impacto hidrológico cero" de la urbanización y muestran una incipiente tendencia a la aplicación de ideas innovadoras en el territorio nacional. Sin embargo, la falencia casi total de datos de tipo lluvia-caudal que penaliza a la hidrología urbana argentina ha impuesto fuertes limitaciones a las investigaciones técnico-científicas. La Figura 1.21 ilustra acerca de la evolución de la población en Argentina y la identificación de las principales etapas históricas del drenaje urbano.

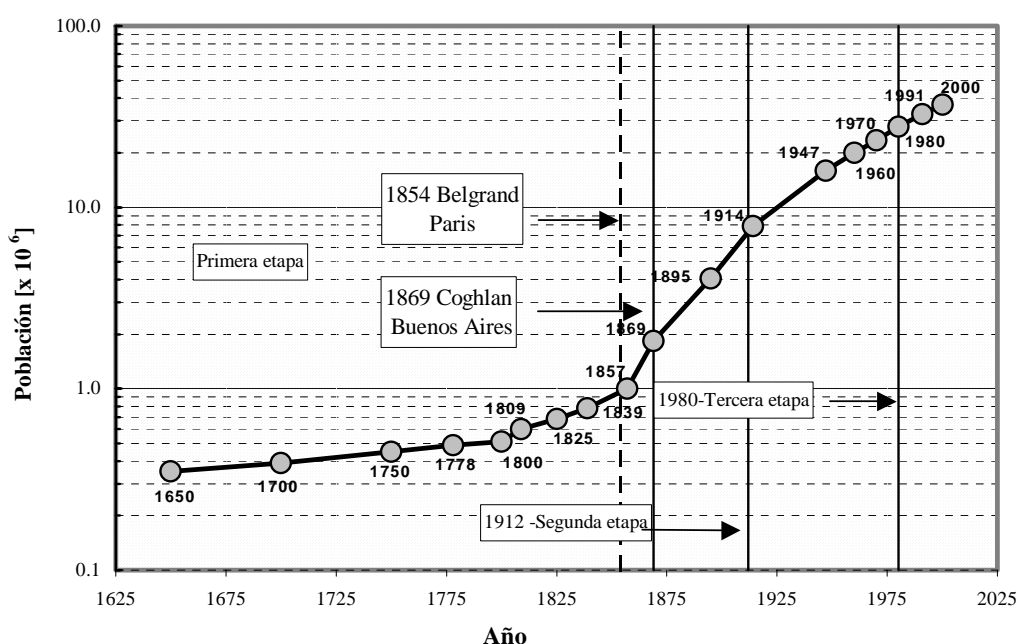


Figura 1.21. Evolución de la población e identificación de las etapas históricas del drenaje urbano en Argentina. Fuente: Bertoni y Chevallier (2001); Bertoni, (2001).

Nota por G. Riccardi (2004): En Rosario, en los valle de inundación de los Arroyos Ludueña y Saladillo el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agimensura de la Universidad Nacional de Rosario, ha trabajado en la delimitación de áreas con riesgo de inundación para recurrencias de 100 y 500 años a pedido de las autoridades municipales y provinciales. En tal actuación a partir de obras estructurales realizadas en los cursos de agua (recanalizaciones, presa de retención, ampliación de entubamientos y ampliación de defensas) se procedió a delimitar las zonas de inundación para un escenario posterior a la obras. A partir de tal zonificación los organismos municipales relacionadas al saneamiento y al ordenamiento territorial del municipio confeccionaron proyectos de ordenanzas respectivas para el uso y ocupación del suelo en zonas de 100 y 500 años de riesgo de inundación. Dichas ordenanzas fueron promovidas posteriormente por la autoridad legislativa municipal (Riccardi, 1997a, 1997b y Riccardi, et al. 1997)

1.6 SINTESIS DE CARACTERIZACION GENERAL DE LA PROBLEMÁTICA DE LAS INUNDACIONES URBANAS EN ARGENTINA (Extractado de Bertoni et al., 2002)

En Argentina los problemas asociados a las inundaciones en áreas urbanas se derivan de:

- La ocurrencia de crecidas sobre áreas ribereñas a los ríos, y
- Los efectos ligados al crecimiento urbano tradicional.

En realidad, en casi todos los casos se observan combinaciones de ambas causas básicas. En casi todas las regiones del país se han registrado pérdidas de vidas humanas y daños materiales de real importancia como consecuencia de la ocurrencia de inundaciones en áreas urbanas. A continuación se identifican los problemas distintivos correspondientes a diversas regiones del país

1.6.1 Ciudades localizadas sobre las márgenes del río Paraná

El río Paraná (módulo de 16.000 m³/s; crecidas máximas del orden de 60.000 m³/s) constituye el mayor curso de agua que recorre el territorio argentino. Desde la época de la colonización española se asentaron junto a él diversas ciudades, varias de las cuales actualmente gravitan fuertemente sobre las actividades socio-económicas del país (Posadas, Resistencia, Corrientes, Paraná, Santa Fe y Rosario). Las precipitaciones anuales promedio en la región son del orden de 1300 mm, presentando mayor concentración sobre el semestre octubre-marzo. En las últimas décadas la presencia del fenómeno “El Niño” ha puesto de manifiesto el conjunto de problemas existentes en las áreas urbanas. En la mayoría de ellas se han registrado inundaciones derivadas de la ocurrencia de crecidas del río Paraná, independientemente de la ocurrencia de lluvias locales. Como consecuencia, en casi todas estas ciudades se han encarado desde 1990 y hasta la fecha estudios y obras tendientes a minimizar los efectos de este tipo de inundaciones (ejecución de terraplenes de defensas, casas de bombas, etc.). Permanecen, sin embargo, los problemas ligados al crecimiento urbano, la falta de planificación urbana y el empleo de obras de conducción como única solución al drenaje pluvial.

Un ejemplo de vulnerabilidad a las precipitaciones lo constituye la ciudad de Resistencia. En la actualidad, lluvias de 25 mm en media hora producen anegamientos de calles céntricas (Pilar & Depettris, 2000 citado por Bertoni et al. (2002)), inclusive de las que circundan el edificio municipal. El origen de este problema tal vez se encuentre en el crecimiento explosivo, pero desordenado que sufrió la ciudad en el último cuarto de siglo. La solución integral requerirá la elaboración de importantes obras enmarcadas en un Plan Director de Drenaje Urbano. Sin embargo, sería muy difícil garantizar que estas costosas obras serán eficaces si no se congela la situación actual en lo que respecta al grado de impermeabilización. Con esta finalidad, el Concejo Municipal de la ciudad de Resistencia aprobó una modificación a la Ordenanza N° 4542, donde en esta nueva Ordenanza N° 5403, introdujo dos nuevos indicadores: el FIS (factor de impermeabilización del suelo) y el FIT (factor de impermeabilización total). Además, según esta nueva ordenanza, todo proyecto nuevo de edificación, debe verificar el “impacto cero”, entendiendo en este concepto que el pico del caudal generado no se incremente con el aumento de la impermeabilidad del terreno (Pilar & Depettris, 2000b citado por Bertoni et al.(2002)).

Nota por G. Riccardi (2004):

Debido a que el material base de este punto fue elaborado en 2002 no consta una referencia a la terrible inundación que sufrió la ciudad de Santa Fe, Argentina. Este evento se presentó en abril-mayo de 2003 a raíz del desborde del río Salado que afectó severamente a 1/3 de la superficie urbana de la ciudad. La catástrofe causó, según cifras oficiales, más de 20 muertos y la afectación de más de 100000 personas con pérdidas materiales estimadas en 700 millones de dólares.

Las causas de la catástrofe son complejas: la presentación de una serie de lluvias importantes en la cuenca del río Salado; la ausencia de sistemas de medición y monitoreo de la cuenca, ausencia de red de alerta; un puente con capacidad hidráulica insuficiente construido hace más de 30 años que motivó una elevación de pelo de agua; y lo más grave un terraplén de defensa sin terminar (por motivos aún no claros) aguas arriba que operó como portal de entrada de agua dentro del valle de inundación protegido produciéndose un efecto similar al llenado de un estanque, además se dio la ausencia de una planificación de la evacuación. En síntesis puede decirse que la catástrofe se produjo por la superposición de una lluvia importante, la inexistencia por años de planificación de uso y control de recursos hídricos y una acumulación de incompetencias y negligencias de muchos de los actores encargados del control público de los recursos hídricos. A un año después, las máximas autoridades gubernamentales durante el episodio siguen adjudicando la responsabilidad a la naturaleza.

1.6.2 Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense

En la ciudad de Buenos Aires y el “conurbano bonaerense” (1000 mm anuales) los problemas de inundaciones urbanas se asocian también a las causas básicas citadas anteriormente. Se destacan los efectos derivados de la ocupación de áreas ribereñas a ríos y arroyos (en muchos casos canalizados y/o convertidos en conductos subterráneos) y los producidos por la fuerte expansión urbana hacia las áreas suburbanas. Son importantes también los problemas derivados de la ascensión de las capas acuíferas (“freáticas”), resultantes de la combinación de efectos derivados de la extensión de las redes de agua potable, la eliminación del bombeo domiciliario del agua subterránea, la falta de redes cloacales y las características geológicas del subsuelo regional. Estos aspectos se han tornado más evidentes en la última década como resultado de la fuerte expansión de la red de agua potable y de la falta de un desarrollo similar de las redes sanitarias. Actualmente se registran problemas de salubridad en extensas áreas suburbanas derivados de la contaminación del agua aflorante a partir de pozos y fosas sépticas.

1.6.3 Area central del país

Con excepción de Córdoba capital (1.400.000 hab), las ciudades de esta región son de pequeño y mediano porte, aunque se destaca el elevado número de ellas. La mayoría de los centros urbanos sufre la problemática de las inundaciones derivadas de las causas básicas citadas al inicio de este ítem. En esta región se han registrado importantes inundaciones urbanas derivadas de los aportes hídricos provenientes de áreas rurales aledañas. En muchos casos estos últimos se incrementaron como consecuencia del desmonte y empleo posterior de prácticas agronómicas no adaptadas a la región. Problemas de cantidad y calidad del agua escurrida se asocian al lavado de agroquímicos aplicados sobre los suelos agrícolas. En la ciudad de Córdoba capital y en otras de la región este de Córdoba y oeste de Santa Fe (Marcos Juárez, San Francisco, Rafaela, etc.) se registran, a su vez, problemas de elevación de los niveles freáticos similares a los descritos para el caso del conurbano bonaerense. Estos problemas permanecen en los meses inmediatos posteriores al período húmedo (efecto retardado de la respuesta subterránea). Por otro lado, durante la última década las tormentas estivales de tipo convectivo han desencadenado verdaderas catástrofes en áreas urbanas. Debido al pasaje repentino de ondas de crecidas fueron arrasados barrios ribereños de diversas poblaciones, entre ellas San Carlos Minas, La Calera y Cañada de Gómez (provincias de Córdoba y Santa Fe respectivamente). Estos eventos han producido la pérdidas de vidas humanas y daños de consideración.

1.6.4 Región árida y semiárida

En toda la región árida y semiárida del país la mayoría de los conglomerados urbanos y de las zonas explotadas económicamente se encuentran radicadas en áreas que se encuentran expuestas al régimen hidrológico de los escasos cursos de agua que existen, tanto desde el punto de vista beneficioso como en el caso de efectos perjudiciales por las crecidas infrecuentes.

La abrupta conformación de la topografía del pedemonte de nuestra precordillera, conjuntamente con las intensas precipitaciones convectivas en la temporada estival vuelven extremadamente peligrosas las crecidas conducidas por los cauces secos que atraviesan infraestructuras varias. Los problemas derivados de la urbanización progresiva de las áreas pedemontanas es uno de los problemas más serios que enfrenta, por ejemplo, la ciudad de Mendoza, el principal centro urbano del área cordillerana argentina. Un segundo aspecto distintivo de Mendoza lo constituye el impacto negativo de la calidad del escurrimiento pluvial sobre el área cultivada aledaña. El acarreo de sedimentos desde las zonas rurales, con la consiguiente colmatación de canales y conductos, es otro de los aspectos distintivos de la mayoría de las ciudades localizadas sobre las áreas cordilleranas y serranas.

1.6.5 Otras partes del país

En el resto del país se verifican combinaciones de los problemas citados previamente, con predominancia de uno u otro tipo según las características geográficas y climáticas regionales. Por ejemplo, en la ciudad de Trelew (Pcia. del Chubut), también se registran problemas ligados al ascenso freático, la contaminación de fosas (pozos) sépticas y la inundación de áreas urbanizadas sobre las riberas del río Chubut.

1.7 NECESIDAD DE UNA AMPLIACIÓN EN EL ENFOQUE DE LA GESTIÓN DE LAS INUNDACIONES URBANAS

1.7.1 Necesidad de una Nueva Visión (Extractado de Bertoni et al., 2002)

La filosofía básica del manejo del agua pluvial en residencias y toda clase de urbanización, está abierto a discusión y revisión. La experiencia en la región indica que bajo limitadas e inadecuadas filosofías en prácticas pasadas, el agua pluvial ha sido raramente bien manejada. De hecho, frecuentemente ha sido no manejada.

Las anteriores filosofías establecían simplemente la conveniencia de que en un sitio se actuara con la máxima rapidez posible para eliminar el exceso de escurrimiento pluvial y el rápido confinamiento de esa agua en un sistema cerrado o abierto. El efecto acumulado de tales técnicas ha sido una de las principales causas de incremento de frecuencia de inundación aguas abajo, frecuentemente acompañado por una disminución del aporte de agua subterránea, como un resultado directo de la urbanización, o de la necesidad del desarrollo masivo de obras de ingeniería aguas abajo para evitar los daños por inundación.

Los problemas de inundaciones urbanas se han tornado críticos durante los últimos 30 años, al mismo ritmo de crecimiento de las comunidades y de la construcción de canales revestidos en nuevas y viejas áreas urbanas, donde antes se retardaba el escurrimiento en acequias o zanjas linderas a los caminos. Los resultados desafortunados de las mejoras en las antiguas urbanizaciones requieren de grandes inversiones para construir obras de control de crecidas adicionales.

El proceso de manejo del escurrimiento pluvial está actualmente sufriendo un significativo redireccionamiento, si no una revolución. Esto está evidenciado por un nuevo énfasis en el deseo de detener o almacenar la lluvia donde ella cae, lo cual a veces produce inconvenientes localizados en el corto plazo.

Esta clase de soluciones aplicadas a urbanizaciones, tienen frecuentemente efectos benéficos acumulados por la atenuación del caudal pico y del escurrimiento total. Si se aplicara totalmente a través de una cuenca, se reducirían las principales inversiones de obras requeridas para la protección contra los peligros de la inundación en las zonas bajas de la cuenca.

En las urbanizaciones se ha tratado que el sistema de drenaje evacue el escurrimiento tan rápidamente como sea posible, para restablecer la máxima comodidad en el menor período de tiempo posible. Al mismo tiempo el peligro de pérdidas de vida y de daños a las propiedades ha llevado a realizar obras para dar un 100% de protección contra la peor tormenta que la naturaleza puede generar. Aquí se quiere resaltar que estos dos objetivos no son mutuamente realizables sin costos extremadamente altos.

Cuando se quiere elegir como primer opción la máxima comodidad, se crea un sistema no balanceado en los tramos superior y medio de la cuenca, y se incrementa el peligro y riesgo de daños en el tramo inferior. La solución es obvia: se debe realizar un balance entre eliminación de inconvenientes y protección contra peligro. Las prácticas antiguas no siempre realizaron tal balance, de hecho, lo más frecuente, fue la aceleración de tal desbalance al producirse la urbanización de las áreas.

1.7.2 Conceptos Básicos Recomendados

Los siguientes conceptos claves son recomendados por Bertoni et al., (2002). Los autores aclaran que no son todos, pero que encierran una filosofía básica que debe recibir una amplia difusión y especial consideración:

- La lluvia que precipita en un sitio dado debe, en una solución ideal de diseño, ser absorbida o retenida en el sitio con el objetivo que después de la urbanización la cantidad de agua que se eroga desde ese sitio no sea significativamente diferente de la que escurría cuando el lugar era natural. Este objetivo puede ser conflictivo con status legales actuales, lo cual no reduce su validez.
- El diseño óptimo de dispositivos de colección, almacenamiento y tratamiento debe complementarse con un balance entre costos de capital y de operación y mantenimiento, conveniencia pública, protección ambiental, riesgos de daños por inundación y otros objetivos comunitarios.
- Debe haber un continuo reconocimiento de que hay un balance entre responsabilidades y obligaciones para coleccionar, almacenar y tratar el agua pluvial entre propietarios y la comunidad como un todo.

- Una nueva aceptación de que el agua pluvial es una componente del total de los recursos hídricos de un área la cual no debe descartarse sino que debe utilizarse para completar este recurso.
- La reevaluación de las técnicas de manejo del escurrimiento en una cuenca es una necesidad universal que es de responsabilidad del sector público y debe ser también un objetivo.

1.7.3 El Modelo de Planificación y Gestión Participativa

Bertoni et al. (2002) proponen la incorporación de la gestión de las inundaciones urbanas de un Modelo de Planificación y Gestión Participativa. Según los autores citados, importantes recursos financieros y también técnicos han sido puestos en marcha para paliar la situación de áreas urbano-social ambientalmente comprometidas. Sin embargo, la experiencia permite inferir que los recursos financieros no son suficientes si no media la adecuada planificación y que la misma no resulta eficaz si no se realiza mediante la participación de la comunidad involucrada. La participación no supone únicamente la denuncia de la demanda, sino también el compromiso efectivo en la construcción de las alternativas de solución y, esta construcción de alternativas sólo es posible si se instalan previamente los escenarios adecuados para establecer mecanismos claros y perdurables de concertación.

Bertoni et al., (2002) afirman que el proceso de construcción de la ciudad auténticamente sustentable se fundamente en el tránsito de la planificación pública a la construcción participativa de los escenarios de la concertación. Esta construcción participativa debe basarse en una concepción ambiental que incorpore el concepto de desarrollo sustentable regional y se caracterizan por:

- Incorporar el concepto de Planificación y Gestión como un proceso indisoluble.
- La participación activa de los diferentes sectores de la sociedad.
- Ser multisectorial, interdisciplinaria y comprometer la participación de los decisores políticos desde el inicio.
- Trabajar desde el conflicto y la contraposición de intereses en base al consenso.
- Definir cuestiones estratégicas y acciones tácticas.
- Determinar intervenciones de coyuntura, al mismo tiempo que se definen los lineamientos del medio y largo plazo, cuidando la direccionalidad y la viabilidad de las mismas.

La planificación para la sustentabilidad debe basarse:

- En las personas y no en las cosas;
- En los objetos y no en los medios para alcanzarlos;
- En las necesidades, mitos y creencias de la comunidad.

1.7.4 Metodología tentativa de la Gestión

Teniendo en cuenta el contexto aleatorio (procesos hidrológicos) y cambiantes (desarrollo urbano) en el que se debe desenvolver la gestión, esta debe ser dinámica. Las actuaciones deben sustentarse en el conocimiento obtenido tanto de los procesos físicos y antrópicos involucrados directamente con el sistema hidrológico (lluvia, escurrimiento, impermeabilización, etc), como en el conocimiento de los fenómenos sociales y económicos del sitio en estudio (migraciones, pobreza, marginalidad, etc.).

Debe establecerse un programa global de actuaciones que se base en objetivos claramente definidos y que sea flexible y realista y responda a una secuencia de prioridades, a la vista de los imperativos sociales, medioambientales y técnicos del contexto en que se desarrollan las actuaciones. El programa global debe ser revisable y ajustable a la vista de los resultados y mayor conocimiento que se obtenga de la puesta en marcha y explotación de las medidas originadas en el propio programa.

Gutierrez Muñoz (1992) plantea que desde el punto de vista metodológico será necesario recorrer distintas etapas en un proceso cíclico y retroalimentado (Figura 1.22). Este proceso deberá permitir el desarrollo simultáneo de algunas o todas las etapas, ya que nunca se parte de cero y en muchos casos será necesario la realización de actuaciones urgentes.

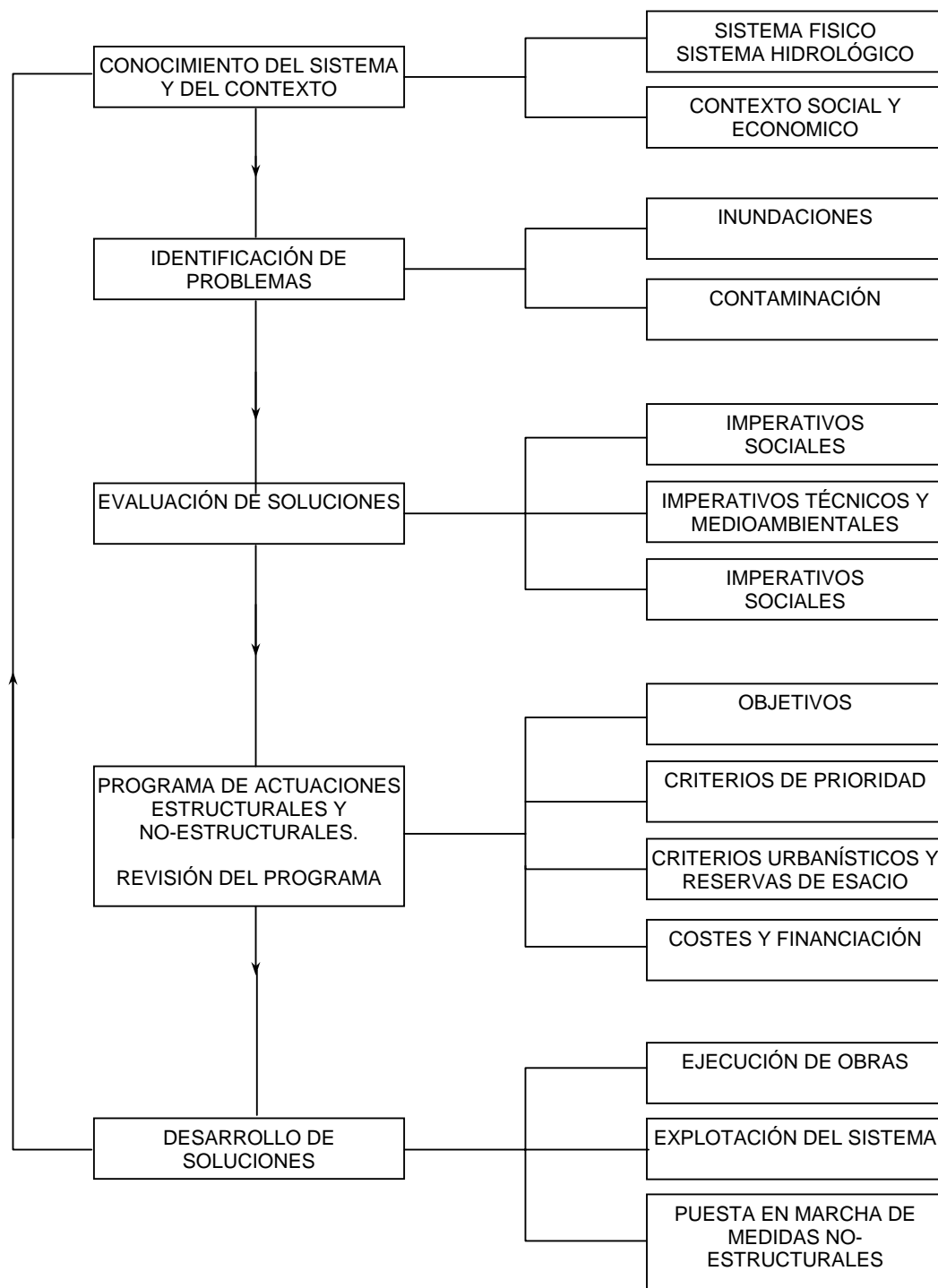


Figura 1.22. Esquema Metodológico de la Gestión. Fuente: adaptado de Gutierrez Muñoyerro (1992)

1.8 BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Díaz, C. (1996), Aportaciones Metodológicas al Estudio de la Contaminación Litoral originada por vertidos y alivios procedentes de redes de saneamiento urbano, Tesis Doctoral, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, Santander, España
- ASCE-WEF (American Society of Civil Engineers y Water Environment Federation) (1992), *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*, ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice No. 77, WEF Manual of Practice FD-20; American Society of Civil Engineers, New York.
- Bertoni, J.C. (2001), Evolución del Drenaje Urbano en Argentina, III Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano, Rosario, Argentina, 10p.
- Bertoni, J.C. (2002), Material de Talleres para Tomadores de Decisión, Programa Asociado de Gestión de Crecidas, Proyecto: Mejoramiento de las Prácticas de Gestión de Crecidas en Sudamérica, World Meteorological Organisation Global Water Partnership, Rosario, Argentina.
- Bertoni, J.C., Maza, J. y Paoli C. (2002), Gestión de Crecidas en Áreas Urbanas en América del Sur, Programa Asociado de Gestión de Crecidas, Proyecto: Mejoramiento de las Prácticas de Gestión de Crecidas en Sudamérica, World Meteorological Organisation Global Water Partnership.
- Daniele A. (2001), Experiencia Del Saneamiento Pluvial en la Ciudad De Rosario, Director General de Hidráulica y Saneamiento, III Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano, Rosario.
- Ellis, J. Y Hvited-Jacobsen, T. (1996), Urban drainage impacts on receiving waters, *Journal of Hydraulic Research*, 34, 6, pp. 771-784.
- GWP-SAMTAC (2001), Agua para el Siglo XXI: De la Visión a la Acción, América del Sur, Global Water Partnership, 78 p.
- Gutierrez Muñozerro, C. (1992), La Gestión de las Infraestructuras de Drenaje Urbano, *Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano* (editores: J. Dolz, M. Gomez, y J.P. Martin), Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 161-181.
- Laurence, A., Marsalek, J., Ellis, J. Y Urbonas, B. (1996), Stormwater detentio & BMPs, *Journal of Hydraulic Research*, 34, 6, pp. 799-814
- Leopold, L. (1968), Hydrology for Urban Planning – A Guide Book onn the Hydrologic Effects on Urban Lad Use, USGS. 18p.
- Lloret Ramos, C. (1995), Erosão Urbana e Produção de Sedimentos, en Drenagem Urbana (Tucci. C-, Laina Porto R. y Barros M.), Editora de UFRGS, ABRH, pp. 241-270
- Lopardo R. y Seoane R. (2000), Algunas Reflexiones sobre Crecidas e Inundaciones, Revista Ingeniería del Agua, Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua, universidad Politécnica de Valencia, Vol. 7, Nº 1, pp. 11-21.
- O'loughlin, G., Huber, W. Y Chocat, B (1996), Rainfall-runoff processes and modelling, *Journal of Hydraulic Research*, 34, Nº 6, 733-752.
- Postiglione R. y Riccardi G (2000), Los Desagües Pluviocloacales en el Radio Antiguo de Rosario y la Renegociación con APSFSA Parte I: Un Análisis de la Renegociación desarrollada entre 1997 y Agosto de 2000. Sus Implicancias en el Plan de Obras y Tarifarias, *Cuadernos del Curiham*, ISSN 1514-2906, CURIHAM-UNESCO-Programa Hidrológico Internacional, Vol. 6, Nº 2, 2do Semestre, 193-207.
- Riccardi G, (1997a), The mathematical modelling of flood propagation for the delimitation of inundation risk zones, en *Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty* (ed. D. Rosberg et al.) IAHS Publication Nro 240, ISSN 0144-7815, Wallingford.
- Riccardi G. (1997b), El Mapeo de Riesgo de Inundación por medio de la Modelación Matemática Hidrodinámica, *Revista Ingeniería del Agua*, 4, Nº 3, ISSN 1134-2196, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 45-56.
- Riccardi G. (1997c), La transformacion lluvia-caudal en ambientes rurales y urbanos. los procesos hidrológicos y el modelado, *Cuadernos del Curiham*, 3, Nº 4, CURIHAM-UNESCO, FCEIA, UNR, Rosario, 69-88.
- Riccardi G (1998), La calidad del escurrimiento pluvial urbano y el impacto sobre los cuerpos receptores, *Cuadernos del Curiham*, 4, Nº 1, 1er. Semestre 1998, ISSN 1514-2906., CURIHAM-UNESCO, FCEIA, Rosario, 31-46.
- Riccardi G. (2002), La Problemática de las Inundaciones Urbanas, Notas de Curso de Posgrado, Maestría en Recursos Hídricos, FCEIA, UNR.
- Riccardi, G. A., Zimmermann E. D. Y Navarro, R. A. (1997), Zonification of Areas with Inundation risk by means of Mathematical Modelling in the Rosario Region, Argentina, en *Destructive ater: ater-Caused Natural Disasters, their Abatement and Control*, Red Book, IAHS Publication Nro 238, ISSN 0144-7815, Wallingford, UK.

- Subsecretaría de Recursos Hídricos (2002), Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina. En CD.
- Takeuchi, K. (2001), Increasing vulnerability to extreme flood and societal needs of hydrological forecasting, *Hydrological Sciences Journal*, 46(6), pp. 869-881.
- Témez Peláez J. (1992), Control del Desarrollo Urbano en las Zonas Inundables, en *Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano*, (Edit.: Dolz J., Gomez M. y Martin J.), Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- UNESCO (1977), Atlas of World Water Balance, Hydrometeorological Service, USSR/UNESCO press, Leningrado-Paris.
- UNESCO (1980), Balance Hídrico Mundial y recursos hidráulicos de la tierra, Estudios e Informes sobre Hidrología, Nº 25, Instituto de Hidrología, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.
- UNESCO (1996), Mapa Hidrológico de América del Sur, PHI/CPRM/DNPM, Brasil.
- Van de Ven, F. (1990), Water Balances of Urban Areas, en *Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas* (Massing H., Packman J. y Zuidema F., editores), IHAS Pub. Nº 198.