

**CAPÍTULO 12**

# **LA CALIDAD DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL URBANO Y EL IMPACTO SOBRE CUERPOS RECEPTORES**

---

**Curso:     HIDROLOGÍA EN MEDIOS ANTROPIZADOS**

**Maestría en Recursos Hídricos de Llanura  
Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales  
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura  
Universidad Nacional de Rosario**

**Dr. Ing. Civil GERARDO RICCARDI**

**ROSARIO, 2004.**

## **ÍNDICE**

- 12.1 PROCESOS HIDROLÓGICOS Y MOVILIZACIÓN DE CONTAMINANTES EN AMBIENTES URBANOS**
- 12.2 EL ESCURRIMIENTO URBANO Y LA EVOLUCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS REDES DE SANEAMIENTO**
- 12.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS CONTAMINANTES**
  - 12.3.1 Concentraciones Medias de Contaminantes halladas en Desagües Pluviales en Cuencas Urbanas en distintas partes del mundo.**
  - 12.3.2 El Concepto del “Primer Flujo”**
  - 12.3.3 Concentraciones de contaminantes medidos en drenaje pluvial de Rosario**
- 12.4 PROCESOS E IMPACTOS EN CUERPOS DE AGUA RECEPTORES**
  - 12.4.1 Cambios del Hábitat Físico**
  - 12.4.2 Cambios en la Calidad de agua**
  - 12.4.3 Riesgos de la Salud Pública**
  - 12.4.4 Deterioro Estético y Percepción Pública**
- 12.4 CALIDAD Y CRITERIOS ECOLÓGICOS**
- 12.5 MODELADO DE CALIDAD DE LA ESCORRENTÍA URBANA Y DE EVOLUCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS REDES DE SANEAMIENTO Y EN CUERPOS RECEPTORES DE AGUA**
- 12.6 MODELADO DE CALIDAD DE LA ESCORRENTÍA URBANA Y DE EVOLUCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS REDES DE SANEAMIENTO Y EN CUERPOS RECEPTORES DE AGUA**
- 12.7 EL SEDIMENTO EN SISTEMAS DE COLECTORES PLUVIOCLOCALES Y PLUVIALES**
- 12.8 NECESIDADES Y ORIENTACIÓN DE LAS NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**
- 12.9 BIBLIOGRAFÍA**

# LA CALIDAD DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL URBANO Y EL IMPACTO SOBRE CUERPOS RECEPTORES

---

Conjuntamente con el aumento del volumen de escurrimiento observado en aglomeraciones urbanas especialmente en los últimos 50 años, producido por el incremento de la población urbana, se verifica un decrecimiento en la calidad del agua superficial. Paralelamente al crecimiento de las ciudades y a la práctica clásica de arrojar rápido y lejos el drenaje pluvial, se fueron detectando efectos acumulativos de contaminación que han producido y producen importantes deterioros en los cuerpos de agua receptores. 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.

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. 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 (Ellis y Hvited-Jacobsen, 1996). 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 pluvio-cloacal para arribar a un nivel de desarrollo un tanto más sustentable y equilibrado hidroambientalmente.

## 12.1 PROCESOS HIDROLÓGICOS Y MOVILIZACIÓN DE CONTAMINANTES EN AMBIENTES URBANOS

El volumen de escurrimiento de crecida y las variaciones de caudales relacionados con una dada lámina de lluvia caída en un ambiente urbano como se señalara en el Cap. 1, están principalmente determinados por los procesos naturales de: - precipitación; - intercepción en cubierta vegetal y depresiones superficiales; - infiltración en suelo y - almacenamiento y recarga-descarga subterránea.

La vegetación es un importante modificador del escurrimiento a través del mejoramiento de la capacidad de intercepción e infiltración y la evapotranspiración (que hace descender la humedad del suelo, favoreciendo indirectamente la infiltración).

Las urbanizaciones producen sustanciales alteraciones del medio ambiente natural. Se modifica el paisaje, se impermeabilizan grandes áreas, se modifica la vegetación y la permeabilidad del suelo en áreas permeables, se altera la morfología del drenaje superficial y el intercambio de flujo con el ambiente subterráneo.

Estos cambios aumentan de gran manera: el volumen de escurrimiento y la velocidad de aumento de los caudales (se empuja la rama ascendente del hidrograma) y paralelamente la contaminación asociada al escurrimiento pluvial. 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. 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 esorrentía y los valores máximos de caudales (aumento de Qpico 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.

A lo largo del mundo si bien existen diferencias entre los climas, suelos, actividades humanas y formas urbanas lo que resulta en diferentes alteraciones del escurrimiento pluvial, los procesos básicos son los mismos. La gestión del drenaje debe tratar de prevenir los cambios impuestos por procesos de urbanización y desarrollo y mejorar el impacto de estos cambios. Normalmente no es posible una modificación nula o despreciable a las condiciones de escurrimiento en urbanizaciones nuevas, o volver a las iniciales en urbanizaciones existentes por lo que los programas y prácticas de gestión del drenaje urbano deben limitar los impactos a niveles tolerables para asegurar un desarrollo sostenible donde el ambiente considerado pueda asimilar la perturbación pasando a otro estado de equilibrio ambiental.

## **12.2 EL ESCURRIMIENTO URBANO Y LA EVOLUCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS REDES DE SANEAMIENTO**

El conocimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos de los que depende la evolución de las sustancias arrastradas por el escurrimiento pluvial y pluviocloacal sobre superficies de la cuenca y dentro de la red de drenaje plantea una gran cantidad de problemas e incertidumbres (Johansen, 1985; Huber y Dickinson, 1988; Alvarez Díaz, 1996).

Al inicio de la precipitación se produce el lavado de contaminantes atmosféricos, lo que se incorporan a las gotas de agua. Al producirse la caída de las gotas sobre la superficie de las cuencas, en la medida en que estas se encuentren desprotegidas de cobertura (vegetal o impermeable), el impacto produce la erosión del terreno y parte de las partículas son arrastradas conjuntamente con el escurrimiento y con la suciedad de las superficies (techos, veredas, calles, etc.) que el flujo encuentra en su paso. Cuando el escurrimiento alcanza la red de drenaje de acuerdo a si el sistema es unificado o separativo se producen dos mecanismos diferentes.

Si el sistema es unificado en la red colectora se produce la mezcla del escurrimiento pluvial con el de aguas cloacales circulantes en la red que contienen sustancias contaminantes (orgánicas y no orgánicas) provenientes de los desagües domésticos domiciliarios e industriales. Las deposiciones que se producen durante tiempo seco en puntos de la red mientras la velocidad de circulación es relativamente baja y no alcanza su autolimpieza, son arrastradas por el aumento de velocidad en tiempo lluvioso.

En el caso de sistemas separativos cuando el escurrimiento pluvial se introduce en la red se produce el barrido de gran cantidad de deposiciones dentro de los conductos, como basura domiciliaria, vegetales, animales muertos, descarga de conexiones cloacales clandestinas, etc. Esta mezcla tiene una importantísima carga de contaminantes en los primeros instantes de escurrimiento, habiéndose comprobado mediante mediciones en cuerpos receptores que la carga de contaminantes es superior y/o equivalente a aguas cloacales pretratadas.

En otros elementos integrantes del sistema de drenaje como depósitos de detención se pueden producir procesos físicos, e inclusive biológicos que pueden llegar a modificar totalmente las características de las aguas por ellos detenidas (Alvarez Díaz, 1996).

### 12.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

De acuerdo a la característica del sistema de drenaje de cada cuenca, unificado o separativo, pueden definirse dos tipos de fuentes de contaminantes:

- Descarga desde desborde de sistemas unificados (DSU) (el escurrimiento sobrante en días lluviosos que no puede ser tratado en planta y se descarga directamente al cuerpo receptor sin tratar), que se constituye de desagües domiciliarias e industriales y escurrimiento superficial. Esta descarga depende de la lluvia, y el diseño y operación del sistema pluviocloacal. En nuestro país existen sistemas de saneamiento unificados donde no se realiza tratamiento alguno, y las descargas cloacales y pluviocloacales son realizadas directamente a los cuerpos receptores. Tal es el caso de poblaciones emplazadas a orillas de ríos caudalosos como el Paraná en la zona litoral.

- Descarga proveniente de escurrimiento superficial pluvial (DEP). Depende de la lluvia y de las características del sistema pluvial.

Ambos tipos de descargas, DSUs y DEPs son diferentes en lo que respecta a volumen descargado, la concentración de contaminantes y la frecuencia de descargas. En un sistema unificado, si fue adecuadamente diseñado y es operado correctamente, el volumen descargado debería ser reducido en comparación con un sistema de desagües pluviales separativo.

En DSU se distinguen tres componentes importantes de escurrimiento: aguas servidas, escurrimiento pluvial y depósitos cloacales. Se encuentran contaminantes orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos y amoníaco, asimismo habitualmente se encuentran cantidades relativamente elevadas de metales pesados y compuestos orgánicos.

En DEP las concentraciones son más bajas que la de los sistemas unificados debido a la cantidad de agua mayor que se descarga en términos de balance anual. La contaminación pluvial está originada principalmente por la erosión, polución atmosférica, lavado de superficies impermeables, y poblaciones animales. Los automóviles son generalmente la principal fuente de polución, particularmente en áreas urbanizadas. En la actualidad en la mayor parte de los países del mundo donde se utilizan sistemas separativos el escurrimiento pluvial no sufren tratamiento alguno y son vertidos directamente al cuerpo receptor. Sin embargo, en algunas ciudades ya existen antecedentes de tratamientos especialmente del agua escurrida en los primeros instantes de lluvia. El tratamiento consiste en almacenaje del agua inicial en depósitos y posterior dilución con el agua restante.

Los contaminantes y parámetros físico-químicos-biológicos indicadores de contaminación habitualmente hallados en escurrimientos pluviocloacales y pluviales en días lluviosos son (Alvarez Díaz, 1996; ASCE-WEF, 1992; Ellis y Hvited-Jacobsen, 1996; Gutierrez Muñoz, 1992; UDFCD, 1992)

- # sólidos en suspensión (SS)
- # demanda química de oxígeno (DQO)
- # demanda biológica de oxígeno (DBO)
- # bacterias totales (BT)
- # bacterias colifecales (BCF)
- # nitrógeno (N)
- # fósforo (P)
- # plomo (Pb)
- # zinc (Zn)
- # cadmio (Cd)
- # cobre (Cu)
- # cromo (Cr)

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 DSUs 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 DEPs 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 (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

Los efectos sobre los cuerpos receptores pueden clasificarse en agudos y acumulativos o crónicos, según el tiempo de afectación. En la Figura 12.1 se presentan esquematizadas las escalas de tiempo de los efectos de los principales contaminantes observados en DSUs y DEPs. 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 (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996) . 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 (Verbanck et al., 1994). 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.

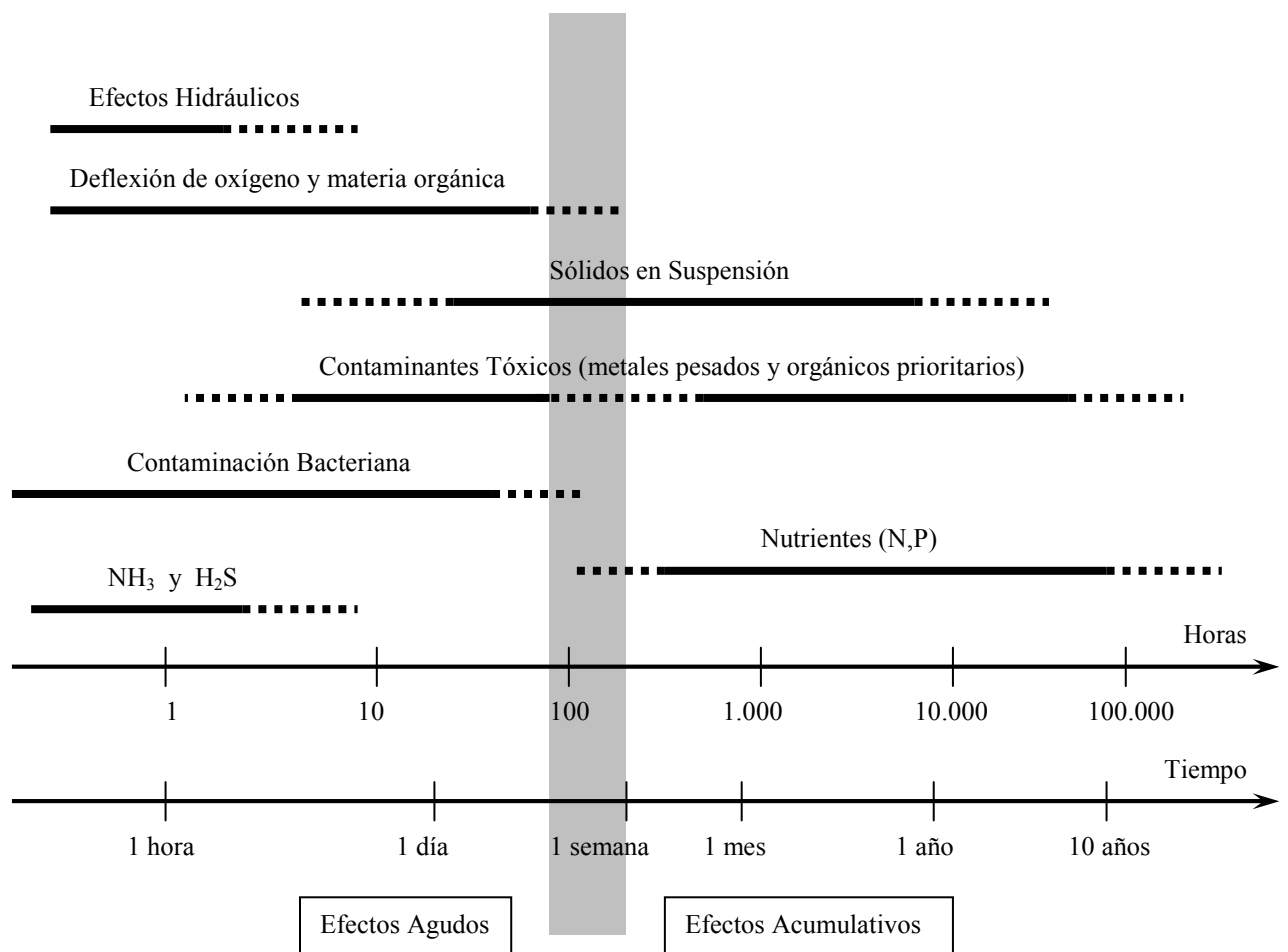


Figura 12.1 Escala de tiempo para los Efectos en Cuerpos de Agua Receptores producidos por descargas intermitentes. Fuente: adaptación de Ellis y Hvited- Jacobsen (1996).

### 12.3.1 Concentraciones Medias de Contaminantes halladas en Desagües Pluviales en Cuencas Urbanas en distintas partes del mundo.

De acuerdo a la bibliografía específica se constata que desde hace años se ha investigado en diversas ciudades de países industrializados la contaminación del escurrimiento proveniente de desagües pluviales, tanto en sistemas separativos (pluviales) como en sistemas combinados o unificados (pluviocloacales).

En las Tablas 12.1 a 12.3 se presentan valores de concentraciones medias halladas en cuencas urbanas de Dinamarca ((Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996), Estados Unidos (UDFCD, 1992) y Francia (Cergrene-Labam et al., 1999)

Tabal 12.1. Valores característicos de Concentraciones medias en sitio (CMS) de contaminantes en Sistemas Combinados (pluvio-cloacales) y Pluviales observados en Dinamarca  
Fuente: Hvitved-Jacobsen et al. (1996)

Contaminante	Sistemas Pluviocloacales	Sistemas Pluviales
Sólidos en Suspensión (mg/l)	100-200	30-100
DQO (mg/l)	60-200	40-60
DBO (mg/l)	25	5
N total (mg/l)	10	2
P total (mg/l)	2.5	0.5
Pb (µg/l)	100-150	50-150
Zn (µg/l)	300-500	300-500
Cd (µg/l)	1-1.5	0.5-3
Cu (µg/l)	30-40	5-40
E. Coli (100 ml <sup>-1</sup> )	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>

Tabla 12.2. Concentraciones Medias en Eventos (CME) de contaminantes según uso de la tierra  
Fuente: UDFCD (1992)

Contaminante	Uso de la tierra		
	Residencial (mg/l)	Comercial (mg/l)	No desarrollada (mg/l)
Sólidos en Suspensión	398	370	400
DQO	194	260	72
Carbono Orgánico Total	39	56	26
Carbón Orgánico Disuelto	19	35	16
N total	4.1	5.7	3.4
N total (Kjeldahl)	3.4	4.3	2.9
Amoníaco (como N)	0.8	1.3	0.1
Nitratos y Nitritos	0.9	1.6	0.5
P total	0.8	0.8	0.4
P disuelto	0.2	0.2	0.1
Orto P	0.3	0.3	0.1
Pb	0.3	0.2	0.1
Zn	0.3	0.4	0.1
Mn	0.3	0.4	0.5
Cu	0.05	0.07	0.04

Tabla 12.3. Rango de Concentraciones medias en Eventos (CME) de contaminantes en una Cuenca Urbana Experimental de Paris. Fuente: Cergrene-Labam et al. (1999)

Contaminante	Escurrimiento desde techos			Escurrimiento desde patios			Escurrimiento desde calles		
	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Media
SS (mg/l)	3	304	29	22	490	74	49	498	92.5
DQO (mg/l)	5	318	31	34	580	95	48	964	131
DBO (mg/l)	1	27	4	9	143	17	15	141	36
HC (µg/l)	37	823	108	125	216	161	115	4032	508
Cd (µg/l)	0.1	32	1.3	0.2	1.3	0.8	0.3	1.8	0.6
Cu (µg/l)	3	247	37	113	50	23	27	191	61
Pb (µg/l)	16	2764	493	49	225	107	71	523	133
Zn (µg/l)	802	38061	3422	57	1359	563	246	3839	550

Uchimura et al. (1997) presenta resultados de estudios realizados en Japón en conductos separativos en una cuenca de aporte de 5 Ha, reportando los siguientes valores:

Tabla 12.4. Concentraciones observadas en conductos pluviales de cuenca de 5 Ha.  
Fuente: Uchimura et al. (1997)

Contaminante	Concentración (mg/l)	Carga Unitaria por evento (kg/Ha)
SST	135-242	0.23-14.07
DQO	32-85	0.09-1.96
DBO	36-91	0.06-1.47

Ashley y Dabrowsky (1995) describen un programa de monitoreo de bacterias conformes y sedimentarias en tiempo seco y de lluvia. Los valores registrados son los siguientes

Tabla 12.5. Concentraciones de Coniformes. Fuente: Ashley y Dabrowsky (1995)

Contaminante	Rango de Concentraciones (NMP/100 ml)
Coliformes Totales	$2.0 \times 10^4 - 2.1 \times 10^6$
Coliformes Fecales	$3.0 \times 10^4 - 7.7 \times 10^7$

### 12.3.2 El Concepto del “Primer Flujo”

En varios trabajos reportados en bibliografía se destaca que cualquiera sea el contaminante considerado, se comprueba una extremadamente alta carga inicial, el concepto de “primer flujo”, y que las altas concentraciones se registran hasta que se produce el pico del hidrograma, disminuyendo luego. Asimismo, se puede establecer una relación proporcional entre la lluvia caída y la carga de contaminantes, lo que permitiría estimar la carga anual que se descarga.

Respecto al primer flujo según Baud (2002), puede decirse que la importancia de su caracterización se debe a que la separación y el tratamiento de este volumen antes del vuelco al cuerpo receptor (y no de todo el volumen evacuado) puede significar la optimización técnico-económica y ambiental del proceso.

Saget et al. (1996) presentan un estudio sobre 197 eventos considerados en 14 cuencas con descargas unitarias y separativas y plantean un método para la caracterización de la variación de la contaminación a lo largo del evento considerado (Figura 12.2). El método se basa en la clasificación de las relaciones entre la *fracción de volumen (respecto al total) del flujo* y la *fracción (respecto al total) de la carga de contaminante*. En este contexto la zona

De acuerdo a Baud (2002), de la aplicación de ese método surge la ocurrencia o no de un primer flujo para cada lluvia en estudio (y para cada punto de descarga), como porción concentradora de la contaminación. Esto a partir de ciertas definiciones arbitrarias: se define que el primer flujo se presenta si al menos el 80 % de la polución fue arrastrada por el 30 % del volumen total descargado. Además caracterizan cada evento en función de la *curva volumen acumulado vs. contaminación acumulada*, fijando seis distintas áreas dentro de las que puede representarse el progreso de la carga contaminante.

La zona 1, que sigue los lineamientos indicados más arriba, abarcaría los eventos en los que se presenta un 'primer flujo'. Sin embargo, no se han podido establecer relaciones entre las variaciones de las descargas de contaminantes y de volúmenes en función de las características del tipo de descarga (unitaria o separativa), del tipo de cuenca (tiempo de concentración, pendiente media, etc.), del tipo de lluvia (altura de precipitación, intensidad máxima, etc.) o del período seco anterior a la ocurrencia de cada evento.

Aún flexibilizando la definición de primer flujo, no es posible establecer las características del mismo y, menos aún, los factores que lo condicionan.



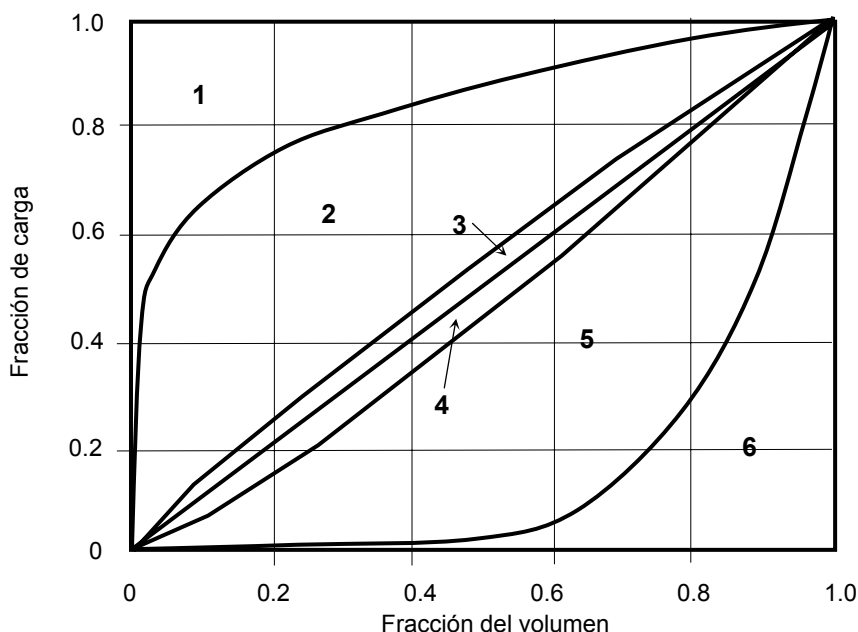


Figura 12.2. Variación de la Contaminación en Eventos Pluviales. Fuente: Saget et al. (1996)

Grum et al. (1997) afirman que la contaminación del escurrimiento urbano puede esencialmente ser caracterizada por el caudal y las concentraciones de contaminantes. Además, se refieren a determinados mecanismos de transporte y detención que afectan grandemente las concentraciones que puedan determinarse.

Bertrand-Krajewski et al. (1995), a partir de mediciones realizadas en una pequeña ciudad de Francia, confirman que durante la ocurrencia de lluvias las cargas que se reciben en la planta de tratamiento crecen, principalmente en SST y NH4. Relacionan el aumento de sólidos sedimentables con el lavado de la superficie de la cuenca durante las lluvias y lo estiman sobre la base de la relación DQO/DBO, que muestra valores mayores en esos casos. Otras conclusiones que arrojan estos estudios son que los caudales de tiempo de lluvia (con respecto a los de tiempo seco) contienen mayores cargas y concentraciones de turbiedad, menor concentración pero mayor carga de NH, y concentraciones iguales de DQO y DBO, lo que implica mayores cargas por el aumento de caudal.

### 12.3.3 Concentraciones de contaminantes medidos en drenaje pluvial de Rosario

Baud (2002) realizó mediciones de concentraciones de contaminantes en una cuenca altamente urbanizada de la ciudad de Rosario. Los resultados encontrados en mediciones de dos lluvias ordinarias pueden sintetizarse en la siguiente Tabla:

Tabla 12.6. Máximas Concentraciones de contaminantes registradas en cuenca urbana de Rosario. Fuente: Baud (2002)

	Colif. Totales (NMP/100 ml)	Colif. Fecales (NMP/100 ml)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	Hidrocarburos Totales (mg/l)
Valores Medidos	3.0 10 <sup>6</sup>	8.0 10 <sup>5</sup>	515	85	780	10
Admisibles según normas para efluentes cloacales	5000	1000	375	300	500	100

Los resultados obtenidos no pueden analizarse de manera cuantitativa, en razón acerca de la escasa cantidad de eventos estudiados.

Sin embargo desde el punto de vista cualitativo se ha podido determinar que las concentraciones de diversos parámetros estudiados son, en general, altas en comparación a valores detectados en estudios realizados sistemáticamente en otros países y altas también, y fundamentalmente, en relación a los límites definidos para volcamientos a cuerpos receptores en la zona donde se realizó el estudio. Más aún cuando estos límites están definidos para volcamientos de efluentes cloacales (y unitarios).

Respecto al origen de los contaminantes, Baud (2002) plantea que está en el lavado de las distintas superficies (techos, veredas, calles) e incluso en el arrastre de material depositado en las cañerías en tiempo seco. Además, las concentraciones de coliformes fecales hacen suponer la presencia de desbordes en las instalaciones domiciliarias, para alivio de los desagües internos durante la ocurrencia de lluvias. También debe considerarse el aporte de heces de animales. Analizando la idiosincrasia de los habitantes, puede concluirse que las deposiciones de diversos animales domésticos no son recogidas y dispuestas junto a los residuos sólidos, sino que, en el mejor de los casos son trasladadas (mediante barrido o lavado de aceras) hacia la calzada, pudiendo alcanzar los sumideros.

Por otro lado, puede considerarse que el gran aporte de hidrocarburos es debido al tránsito vehicular, considerando que en área de la cuenca no se encuentran estaciones de servicio, ni depósitos de combustible.

Los valores de SST detectados responden sin duda al arrastre de partículas depositadas en techos, azoteas, veredas y calzadas durante los periodos de tiempo seco.

Los valores de DBO no son muy elevados y su presencia se debe a la existencia en las calles de hojas, flores, basuras.

Según Baud (2002) los altos valores de DQO están asociados a los distintos materiales arrastrados, en relación a los compuestos reductores asociados a los mismos.

## 12.4 PROCESOS E IMPACTOS EN CUERPOS DE AGUA RECEPTORES

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 reaireación
- 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

### 12.4.1 Cambios del Hábitat Físico

Los procesos de urbanización permanentemente pueden modificar la naturaleza, la forma y comportamiento de los cuerpos de agua receptores. Acciones tales como rectificación de cursos,

revestimiento, entubamientos, constricciones en los cursos de agua naturales dentro de las zonas urbanas producen severas modificaciones. Los cursos modificados alterarán su régimen fluvial agudizando procesos de erosión y sedimentación, y extendiéndose la perturbación a gran distancia (fuera de la urbanización) hacia aguas abajo a largo plazo (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

#### 12.4.2 Cambios en la Calidad de agua

**Deflexión de Oxígeno Disuelto y Muerte de Peces:** Las descargas pluvio cloacales y pluviales en los cuerpos receptores introducen partículas orgánicas finas y solubles las que son transportadas en la fase líquida produciendo la inmediata deflexión del oxígeno disuelto. Además el incremento de caudal produce un efecto de barrido sobre los sedimentos lo que potencia la demanda de oxígeno, agudizando la deflexión. Por otro lado los sólidos sedimentables que se acumulan en el fondo incrementan la demanda de oxígeno del sedimento (DOS), también profundizando la deflexión. Valores medidos en varias partes del mundo fijan valores entre 1,5-2,5 mg/l en la DOS, con una permanencia de la deflexión entre 1 a 2 días.

En lo que concierne a la afectación sobre los peces, se verifica la muerte y reducción del crecimiento como efectos esperables especialmente en pequeños ríos. Existe una amplia variación en los efectos en función de las diferentes exposiciones al contaminante y temperatura del medio ambiente y agua (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

**Eutroficación:** Las descargas de plantas de tratamiento pueden producir eutroficación en cursos de agua, en tanto que las descargas de escurrimiento pluvial urbano en aguas estancadas o semi-estancadas (lagos pocos profundos por ej.) pueden resultar en problemas de eutrofización (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

**Impactos por Sedimentos y Contaminantes Tóxicos:** Los sedimentos influyen sobre el destino de muchos tóxicos y materiales bioacumulativos en ecosistemas de aguas receptoras urbanas y constituyen un depósito y una potencial fuente de contaminación. En general, los sedimentos depositados en los lechos de los cuerpos receptores no son aptos para proveer un hábitat para muchas especies de plantas y animales. Debido a la naturaleza y cantidad de materia orgánica biodegradable pueden prevalecer condiciones anaeróbicas en los sedimentos que llevarían a los metales acumulados, hidrocarburos y bacterias a producir impactos a largo plazo. Existen casos en que se producen agudos efectos debido a barrido de sedimentos y resuspensión de sustancias tóxicas, tales como hidrocarburos, metales pesados y amoníaco. En la actualidad se están tratando de desarrollar criterios de descripción de impactos agudos y de toxicidad crónica de cada contaminante sobre organismos específicos, a partir de mediciones de campaña, basados tales criterios en las consideraciones de efectos máximos admisibles y tiempos de recuperación (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

**Impactos sobre Comunidades Biológicas:** Las características genéricas de la ecología de las aguas receptoras urbanas son la estabilidad del hábitat y la ecotoxicidad. En general los cursos urbanos pueden tolerar procesos de erosión-sedimentación sucesivos y transitorios, admitiendo materia orgánica con cortos tiempos de permanencia. En los países donde se ha estudiado con mayor intensidad el problema de la calidad de agua (EEUU y Europa) ha crecido la idea entre los administradores y usuarios del agua que la preservación de la ecología debe ser reconocida como un objetivo en sí mismo independientemente de la gestión de los desagües urbanos. Por lo tanto es necesario medir la realización de los objetivos en términos biológicos en lugar de parámetros químicos representativos, incluso pudiendo resultar de más bajo costo utilizar procedimientos biológicos y biotesteo de metales para monitorear y predecir impactos sobre aguas receptoras tanto a corto como a largo plazo. Asimismo es necesario predecir las tasas de recupero de los ecosistemas urbanos dañados por las descargas tóxicas. Investigaciones diversas han mostrado complejas respuestas de las comunidades biológicas ante el impacto de desagües pluvio cloacales. Los efectos más significativos se han restringido a zonas de aproximadamente 300 metros aguas abajo de las obras de descarga. El incremento de flujo durante tormentas intensifica fuerzas de fondo removiendo plancton y especies invertebradas. Los cambios en la turbidez producen alteraciones en los regímenes de luminosidad lo que conlleva a alteraciones del ciclo de los fitoplancton. Otra alteración observada es la proliferación de especies tipo gusanos como resultado de acumulación de deposiciones de materia orgánica (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

En general en todas partes del mundo donde se ha podido realizar un seguimiento biológico se ha detectado problemas de reducción de estatus y diversidad de comunidades bióticas, disrupciones y cambios de fauna.

**Impacto sobre Aguas Subterráneas:** Este impacto si bien se sabe que existe resulta de difícil determinación. El uso no agrícola de herbicidas para el control de vegetación en zonas urbanas está produciendo un aumento de contaminación del agua en zonas adyacentes al vertido. Se ha evaluado que aproximadamente un 34% de los herbicidas aplicados se pierde con el escurrimiento con lo que potencialmente puede llegar a los acuíferos. A la fecha, los mecanismos de transporte y factores principales que determinan la transmisión de contaminantes tóxicos desde superficies urbanas al acuífero son escasamente conocidos

**Monitoreo del Impacto sobre la Calidad del Agua:** Si bien las descargas pluviocloacales y pluviales son intermitentes, los problemas de calidad pueden ser agudos y/o crónicos, por lo tanto es deseable el monitoreo y seguimiento de los efectos tanto por eventos como en forma acumulativa. Los efectos puntuales pueden ser medidos en las principales obras de descarga sobre cuerpos receptores en la zona de mezcla y en los máximos eventos, en tanto que el seguimiento de los efectos acumulativos puede realizarse en amplias zonas del cuerpo receptor mas allá de la zona de mezcla, independientemente de la presentación temporal de los eventos.

#### 12.4.3 Riesgos de la Salud Pública

Todo proyecto de desagües pluviocloacales (con o sin planta de tratamiento) y pluviales significa que efluentes contaminados en mayor o menor grado serán siempre volcados a cuerpos de agua receptores (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996). Esto debe motivar al análisis del riesgo de la salud pública, especialmente si las aguas receptoras son usadas para consumo humano, con fines recreacionales tales como actividades bañísticas, de navegación y explotación pesquera para consumo.

Es bien conocido que las aguas de escurrimiento contienen una gran cantidad de bacterias patógenas y virus. En todas partes donde se ha medido los niveles máximos admisibles de descarga son superados, especialmente durante los primeros instantes del escurrimiento. Según estudios en Estados Unidos un 80% de las veces de ocurrencias de tormentas con lluvia neta igual o mayor a 5 mm. los estándares admisibles son superados. En partículas de sedimento pueden alojarse diversas bacterias encapsuladas, logrando una larga sobrevivencia en el cuerpo receptor, además en las cercanías de las descargas de desagües con contenidos cloacales es potencialmente habitual encontrar en forma permanente e.coli, colifecales y streptococos fecales.

Los verdaderos impactos bacteriológicos de las descargas urbanas en términos de riesgo permanecen con gran incertidumbre y con el agregado de una disparidad de criterios. Muchos estados americanos han especificado que las normativas estipuladas por la Agencia norteamericana de protección del ambiente USEPA de calidad de agua no son aplicables durante los períodos de tiempo lluvioso. No obstante se verifica que el cumplimiento de las normativas respecto a colifecales y enterococos no garantiza la ausencia de otros patógenos muy nocivos como pseudomonas y salmonella.

#### 12.4.4 Deterioro Estético y Percepción Pública

Resulta evidente que este impacto es de difícil cuantificación por la probable subjetividad y diversidad de criterios de observación y evaluación. En países como EEUU y Gran Bretaña se han llevado a cabo investigaciones tendientes a determinar la percepción pública sobre la calidad de agua, cursos de agua, y la potencial gestión compatible para distintos usos del agua incluyendo la recreación y la conservación natural. Los resultados han sugerido que la gente tiene una idea lo suficientemente clara respecto a lo que ellos consideran como un curso de agua contaminado, pero tiene menos certeza respecto a lo que significa agua limpia. Además, la gente percibe que muchos cursos de agua urbanos están siendo contaminados, aún aquellos que pueden mostrar una buena calidad biológica y química. Se observaron diferencias de opiniones entre los diferentes usuarios de los cursos de agua. Los peatones resultaron ser los más críticos, en tanto que los pescadores y canoistas lo fueron en menor escala. Esto refleja la importancia del uso de agua y posiblemente el grado de contacto con el agua. En el caso de Gran Bretaña, la agencia de protección ambiental está considerando la inclusión de parámetros de impacto estéticos en nuevas normativas de evaluación de calidad de agua. Esto degradará en términos de clasificación de calidad las aguas urbanas sometidas a descargas pluviocloacales y pluviales (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

## 12.5 CALIDAD Y CRITERIOS ECOLÓGICOS

La dinámica compleja, la naturaleza eventual e intermitente de las descargas de desagües urbanos, con juntamente con la coexistencias de efectos transitorios y crónicos sobre los cuerpos receptores hace más dificultoso establecer criterios similares a los utilizados en descargas continuas en lo referente a los estándares y estrategias de control (Ellis y Hvited- Jacobsen, 1996).

Para establecer criterios es conveniente la recolección de datos de datos por disciplinas individuales. Son necesarios perfiles de concentración de contaminantes, los que deben ser definidos en términos de intensidad, duración y frecuencia de la lluvia conjuntamente con las especificaciones de los organismos a proteger en función de los usos de agua exigidos.

Es recomendable el monitoreo biológico con integración de factores físicos, biológicos y químicos. Los monitores deben contemplar al menos métodos de evaluación in situ de toxicidad y bioacumulación, simulaciones en laboratorio para evaluación de impacto sobre afectación en peces e invertebrados, y evaluación de índices de estatus y diversidad de comunidades de macroinvertebrados.

Las escalas espaciales y temporales son importantes para el estudio del impacto. La escala temporal aporta en el conocimiento de los efectos acumulativos del impacto, en tanto que la escala espacial lo hace en lo que respecta a la extensión del impacto.

Debe destacarse que muchos de los avances en el conocimiento logrados a la actualidad están relacionados con las descargas continuas desde plantas de tratamiento y descargas industriales, en contraste una mucha menor atención se le ha dado a desarrollos de criterios de control para descargas intermitentes como la de los desagües pluviales urbanos. Una de las principales dificultades para el estudio de estos problemas es la naturaleza estocástica de las precipitaciones.

## 12.6 MODELADO DE CALIDAD DE LA ESCORRENTÍA URBANA Y DE EVOLUCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS REDES DE SANEAMIENTO Y EN CUERPOS RECEPTORES DE AGUA

El modelado de los procesos físicos, químicos y biológicos de los que depende la evolución de las sustancias arrastradas por el escurrimiento pluvial y pluvio-cloacal sobre superficies de la cuenca y dentro de la red de drenaje plantea una gran cantidad de problemas e incertidumbres (Johansen, 1985; Huber y Dickinson, 1988; Alvarez Díaz, 1996):

Un modelo simple es el que considera la concentración de los contaminantes arrastrados por el escurrimiento como constante. En este caso la carga de cada contaminante se calcula mediante (Figura 12.3) (Johansen, 1985):

$$P = Q_s C_s + Q_{ll} C_{ll} \quad (12.1)$$

donde P es la carga de contaminante;  $Q_s$  y  $C_s$  es el caudal y la concentración en tiempo seco;  $Q_{ll}$  y  $C_{ll}$  es el caudal y la concentración durante la lluvia

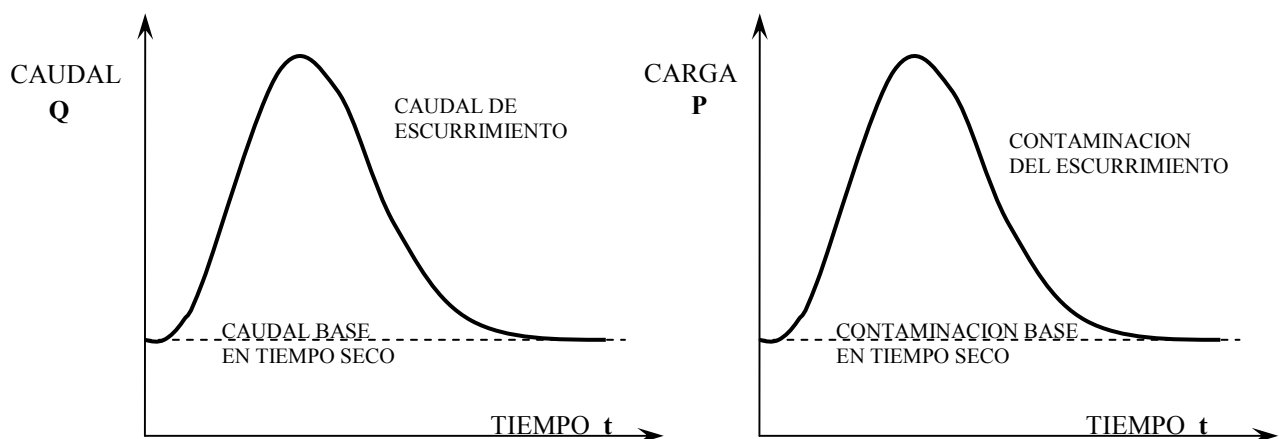


Figura 12.3 Hidrograma y Polutograma en tiempo lluvioso

Actualmente existen modelos determinísticos integrados que simulan procesos lluvia-caudal; exportación de contaminantes; mitigación de impactos mediante control y tratamiento y modelación de procesos físico, químicos y biológicos. Si bien se han desarrollado complejos modelos de simulación existen serias dificultades cuando se requiere refinar el modelado y la falta de datos necesarios conduce al uso de metodologías alternativas incluyendo bases de datos, mediciones de cargas de contaminantes por unidad área y métodos estadísticos aplicados a datos locales. En esta última metodología se contempla la característica temporal acumulativa ya señalada (Ellis y Marsalek, 1996).

Cuando la modelación integral es inviable, una alternativa factible es la modelación determinística de calidad en forma individual en los principales componentes de sistema integrado: sistema de conductos, planta de tratamiento y cuerpo receptor.

A raíz de las incertidumbres y dificultades de medición de parte de los parámetros de los modelos determinísticos surge como interesante los principios de modelado estocástico.

En los cuerpos receptores para un adecuado modelado primeramente es de suma importancia determinar si el efecto es de tipo agudo o crónico. Si se trata de un efecto agudo el modelo debe incluir la posibilidad de simular el efecto relacionado a un evento simple, en cambio cuando los efectos son crónicos la carga de contaminantes provenientes de desagües urbanos pueden ser considerados como descargas constantes. En este caso es adecuado el uso de modelos basados en descargas continuas.

En el caso de impactos severos son de interés las concentraciones máximas y sus duraciones, estos parámetros pueden ser producidos en forma más real mediante interpretación estadística de mediciones de campo, que mediante modelación donde el pronóstico de concentraciones máximas puede ser cuestionado.

Por otro lado para el análisis y seguimiento de los impactos acumulativos son de interés las cargas de contaminantes a largo plazo. Estos parámetros pueden ser estimados mediante modelación o por uso de bases de datos. Un problema mayor en la cuantificación del impacto acumulativo de sistemas de desagües pluviales y pluviocloacales es la producción y transporte de sedimentos con contaminantes adsorbidos. Este problema es particularmente significativo en sistema pluviocloacales en los cuales se producen grandes variaciones de flujo y capacidad de transporte de sólidos (Ellis y Marsalek, 1996).

La generación de modelos de calidad dinámicos tuvo un surgimiento posterior a la de los sistemas de modelación hidrológicos-hidráulicos, por ello gran parte de los modelos de calidad de agua en redes de saneamiento existentes están acoplados modelos de escurrimiento suficientemente probados y en uso. Entre algunos de los modelos hidrológicos-hidráulicos que cuentan con rutinas para evaluación de calidad de agua se pueden citar: el SWMM de la agencia norteamericana de protección del medio ambiente (USEPA), el WALLRUS de la Universidad Británica de Wallingford, el MIKE 11, y MOUSE-SAMBA-FOXTROT del Instituto de Hidráulica de Dinamarca (DHI), DR3M-QUAL del organismo norteamericano de estudios geológicos USGS, etc..

## **12.7 EL SEDIMENTO EN SISTEMAS DE COLECTORES PLUVIOCLOCALES Y PLUVIALES**

Tanto en sistemas de 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 (Verbanck et al., 1994; Ashley et al., 1996).

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. En general se los clasifica en categorías, que puede cada uno producir un problema diferente. 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.

Se han realizado progresos en la descripción matemática del transporte de sedimentos en sistemas de desagües en suspensión y de fondo. De todos modos la información de datos experimentales que existe no es utilizable puesto que se trata de aplicaciones de transporte ribereño y por lo general la mecánica del transporte en conductos es sumamente distinta a la de los ríos puesto que se trata de material mezcla no homogéneo de diferentes propiedades. Sin embargo los estudios con respecto a sedimentos cohesivos en estuarios pueden ser tomados de referencia (Verbanck et al., 1994).

En la bibliografía actual se encuentran documentadas a nivel de proyecto una variada cantidad de obras para control de sedimentos (ASCE-WEF, 1992; UDFCD, 1992).

## 12.8 NECESIDADES Y ORIENTACIÓN DE LAS NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

**Abordaje Holístico:** En coincidencia, todos los autores consultados expresan la necesidad de un abordaje más holístico de la problemática del drenaje urbano. Como ejemplo de esa orientación se puede citar la conclusión Ellis (1995) quien consideró que el sistema de colectores, la planta de tratamiento y el cuerpo receptor debe ser considerado como una entidad en el marco de la planificación de un desarrollo sostenible integrado con el mejoramiento ecológico de los cursos de agua.

**Relación Causa-Efecto:** Es necesario el desarrollo de métodos y herramientas que puedan establecer con claridad la relación causa-efecto para descargas intermitentes y poder utilizarlas en el mejoramiento de las simulaciones mediante modelos

**Criterios de descripción de Impactos Agudos y Crónicos:** Debe avanzarse en los desarrollos de criterios de descripción de impactos agudos de toxicidad crónica de cada contaminante sobre organismos específicos, basados en consideraciones de efectos máximos admisibles y tiempos de recuperación, a partir de mediciones de campaña. En general existe poco conocimiento acerca del modelado ecotóxico, especialmente en la vinculación entre el análisis de respuesta de laboratorio y de campo

**Impactos Bacteriológicos y Salud Pública:** Se necesitan profundizar los estudios sobre los diversos impactos bacteriológicos de las descargas urbanas en términos de riesgo de la salud pública.

**Recuperación de Ecosistemas:** Técnicas y medidas para la recuperación de ecosistemas post-falla son de fundamental importancia, considerando que el recupero es esencial para la integridad de la gestión del drenaje urbano y la mitigación a largo plazo de los impactos sobre cuerpos receptores (Ellis y Hvited-Jacobsen, 1996).

**Sedimentos. Producción, transporte y procesos erosión-sedimentación:** Un problema significativo para la evaluación del impacto acumulativo tanto en desagües pluviales como pluviocloacales es la producción en la cuenca de sedimentos, su transporte por superficie y redes, los procesos de sedimentación, resuspensión y movilización y su vertido conjuntamente con los procesos de adsorción de contaminantes.

**Impacto sobre aguas subterráneas:** Existe una gran incertidumbre respecto a los mecanismos de transporte y factores principales que determinan la transmisión de contaminantes tóxicos desde superficies urbanas a los cuerpos de aguas subterráneas.

**Escurrimiento y Descarga de Aguas Pluviales:** En líneas generales el estado del conocimiento en términos de calidad de agua está mucho más avanzado en la problemática de los desagües pluviocloacales, por lo que es necesario intensificar los desarrollos de criterios de control para descargas intermitentes provenientes de sistemas de desagües pluviales separativos.

**Criterios de Calidad y Ecológicos:** Para el mejoramiento de los criterios de calidad y ecológicos son necesarios las mediciones de los perfiles de concentraciones de los contaminantes y el establecimiento de la relación con la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia y el estado antecedente del sistema, en conjunto con las especificaciones de los organismos a proteger en función de los usos de agua exigidos.

**Hidrología e Hidráulica:** A diferencia del problema 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. Esto indica que los controles de calidad de agua deben orientarse a los volúmenes de escurrimiento de tormentas con esas recurrencias. Queda claro que los estudios hidrológicos e hidráulicos no solo se deben enfocar al caso de eventos extremos, sino que es necesario establecer los parámetros de las precipitaciones y escurrimientos que producen los riesgos de contaminación. En estos casos no solo tiene importancia la probabilidad estadística de los eventos sino que interesa la sucesión temporal para la evaluación de impactos acumulativos, por lo que debe recurrirse al análisis de series de tiempo de tormentas ya sean observadas o sintéticas generadas mediante modelación estocástica. Un gran déficit de las distintas gestiones del escurrimiento pluvial urbano es la escasez de datos históricos y la ínfima infraestructura para toma de mediciones en la actualidad, por lo que debe ser necesario considerar la posibilidad de regionalizar parámetros de generación de serie sintéticas de tormentas. Además en lo que concierne a las escalas de abordaje debe mejorarse el grado de detalle de la simulación del escurrimiento tanto en la escala espacial como temporal y particularmente para eventos no extremos de baja recurrencia (Riccardi, 1997b).

## 12.9 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. 253 p.
- ASCE-WEF, 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. 724 p.
- Ashley R.M. and M.A. Verbanck , 1996, Mechanics of sewer sediment erosion and transport, Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, pp. 753-770
- Ashley R.M. and Dabrowsky, W., (1995), Dry and Storm Weather Transport of Coliforms and Faecal Streptococci in Combined Sewage, Water Science and Technology, JIAWQ, V31, N°7
- Baud, L., (2002), Caracterización del Escurrimiento Pluvial, Trabajo de Investigación, Carrera de Especialización en Ingeniería Sanitaria, CIS, FCEIA, Rosario. 55 p.
- Bertrand-Krajewsky, J., Lefebvre, M. Lefai, B. and Audic, J.,(1995), Flow and Pollutant Measurements in a Combined Sewer System to Operate a Wastewater Treatment Plant and its Storage Tank During Storm Events, Water Science and Technology, JIAWQ, V31, N°7
- Ellis, J., 1995, Integrated approaches for achieving sustainable development of urban storm drainage, Wat. Sci. Tech., 32 (1), pp. 1-6
- Ellis, J.B. and J. Marsalek ,1996, Overview of urban drainage: environmental impacts and concerns, means of mitigation and implementation policies, Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, pp. 723-732
- Ellis, J. and T. Hvited-Jacobsen , 1996, Urban drainage impacts on receiving waters; Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, pp. 771-784
- Grum, M. Alderink, R., Lijklema, L. and Splid, H. (1997), The Underlying Structure of Systematic Variations in the Event Mean Concentrations of Pollutants in Urban Runoff. Water Science and Technology, JIAWQ, V36, N°8-9
- 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 Politecnica de Catalunya, pp. 161-181
- Huber, W.C.; Dickinson, R.E. ,1988, Storm Water Management Model, Version 4. User's Manual, United States Environmental Protection Agency (USEPA), Athens, Estados Unidos
- Johansen, N. ,1985, Discharge to Receiving Waters from Sewer Systems During Rain, Tesis Doctoral, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark.
- Riccardi G. , 1997a, Regulaciones y normativas de calidad de agua de desagües pluviales y pluviocloacales en naciones industrializadas, inédito, Informe CIUNR 1997, FCEIA, UNR. 20 p.



- Riccardi G. , 1997b, Las practicas de gestión optima (BMP's ) en el desagüe pluvial urbano, Cuadernos del Curiham, Año 3 ,Nro 4, CURIHAM-UNESCO, FCEIA, UNR, pp. 79-104.
- Saget, A., Chebbo, G. and Bertand-Krajewski, J. (1996), The First flush in Sewer Systems. Water Science and Technology, JIAWQ, V33, N°9
- Uchimura, K., Nakamura, E. and Fujita, S., 1997, Characteristics of Stormwater Runoff and its Control in Japan, Water Sciences amd Technology, Journal of the IAWQ, Vol. 36, N° 8-9,
- UDFCD, 1992, Urban Storm Drainage Criteria Manual: Vol. 3, Urban Drainage and Flood Control District, Denver,CO, 250 p.
- Verbanck, M., R. Ashley and A. Bachoc , 1994, Origin, ocurrence and behaviour of sediments in sewer systems, Water Resources, 28, pp. 187-194.