

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

por

Gerardo A. Riccardi

Investigador CIUNR. CURIHAM. FCEIA. Universidad Nacional de Rosario
Riobamba 245 bis.2000 Rosario.Argentina

Telefax: 54 (0)41 256294 e_mail: riccardi@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: Se presenta la síntesis de una recopilación y revisión bibliográfica en lo concerniente al estado actual del conocimiento en la temática de la calidad del escurrimiento pluvial urbano y su impacto sobre los cuerpos de agua receptores. En primer lugar se describen los procesos hidrológicos relacionados con los mecanismos de movilización de contaminantes, su evolución en redes de saneamiento y la caracterización de los mismos. Posteriormente se describen los principales procesos e impactos sobre los cuerpos de agua receptores de escurrimiento pluvial, los principales criterios de calidad y ecológicos considerados y el estado del conocimiento en lo que respecta al modelado de calidad y evolución en cuerpos receptores. Luego se describe el rol del sedimento en las redes de colectores y por último se plantean las necesidades y orientación de las nuevas líneas de investigación sugeridas por los especialistas en la temática.

INTRODUCCION

Históricamente el diseño de sistemas de drenaje urbano se resolvía con la filosofía de arrojar lejos y rápidamente el agua sin considerar el efecto sobre el cuerpo receptor de agua. A medida que fueron creciendo las aglomeraciones urbanas y especialmente en los últimos 50 años en que se dió un crecimiento explosivo, aumentó también el volumen de escorrentía y decreció la calidad del agua superficial. Paralelamente se fueron detectando efectos acumulativos de contaminación que produjeron 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 pluviocloacal para arribar a un nivel de desarrollo un tanto más sustentable y equilibrado hidroambientalmente.

PROCESOS HIDROLOGICOS Y MOVILIZACION 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 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 escorrentía y la velocidad de aumento de los caudales (se empina 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 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.

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.

EL ESCURRIMIENTO URBANO Y LA EVOLUCION 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 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).

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 arrastrados 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).

CARACTERIZACION 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 pluvio-cloacal. En nuestro país existen sistemas de saneamiento unificados donde no se realiza tratamiento alguno, y las descargas cloacales y pluvio-cloacales 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 pluvio-cloacales 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 1 se presentan esquematizados 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 J. and Hvited-Jacobsen T.,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 .

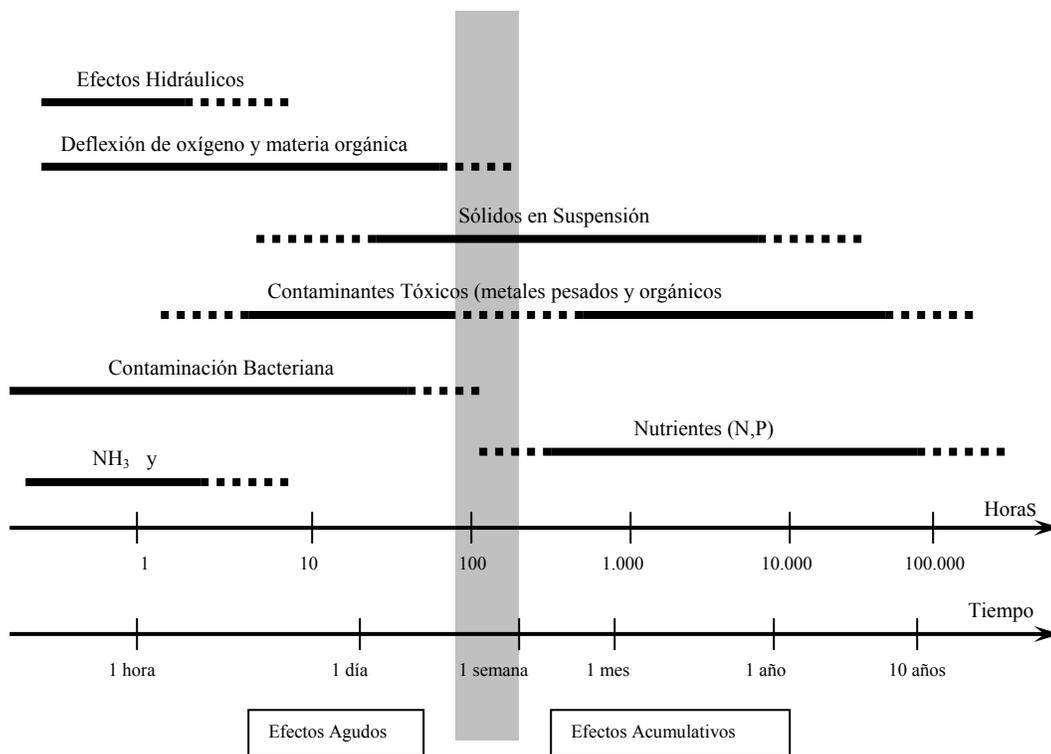


Figura 1 Escala de tiempo para los Efectos en Cuerpos de Agua Receptores producidos por Descargas Interminentes (Ellis y Hvited-Jacobsen , 1996)

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 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

Cambios del Hábitat Físico (Ellis J. and Hvited-Jacobsen T.,1996)

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.

Cambios en la Calidad de agua (Ellis J. and Hvited-Jacobsen T.,1996)

Deflexión de Oxígeno Disuelto y Muerte de Peces

Las descargas pluvioclocales 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 un amplia variación en los efectos en función de las diferentes exposiciones al contaminante y temperatura del medio ambiente y agua.

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 eutroficación.

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 habitat para muchas especies de plantas y animales. Debido a la naturaleza y cantidad de materia orgánica biodegradable pueden prevalecer condiciones aneróbicas 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 .

Impactos sobre Comunidades Biológicas

Las características genéricas de la ecología de las aguas receptoras urbanas son la estabilidad del habitat 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 si 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 la comunidades biológicas ante el impacto de desagües pluvioclocales. Los efectos más significativos se han restringido a zonas de aproximadamente 300m 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.

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 aplicado 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 pluvioclocales 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.

Riesgos de la Salud Pública (Ellis J. and Hvited-Jacobsen T.,1996)

Todo proyecto de desagües pluvio-cloacales (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. 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.

Deterioro Estético y Percepción Pública (Ellis J. and Hvited-Jacobsen T.,1996)

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 contaminando, 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 pluvio-cloacales y pluviales.

CALIDAD Y CRITERIOS ECOLOGICOS (Ellis J. and Hvited-Jacobsen T.,1996)

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.

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.

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

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 2) (Johansen, 1985) :

$$P = Q_s C_s + Q_{II} C_{II}$$

donde **P** es la carga de contaminante; **Q_s** y **C_s** es el caudal y la concentración en tiempo seco;

Q_{II} y **C_{II}** es el caudal y la concentración durante la lluvia

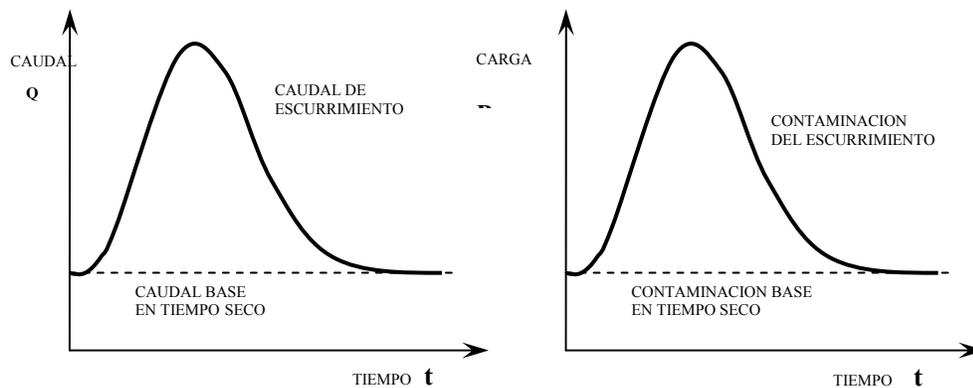


Figura 2 Hidrograma y Polutograma en tiempo lluvioso (Alvarez Díaz, 1996)

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, J. and Marsalek, J., 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 constante. 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 pluvioclocales es la producción y transporte de sedimentos con contaminantes adsorbidos. Este problema es particularmente significativo en sistema pluvioclocales en los cuales se producen grandes variaciones de flujo y capacidad de transporte de sólidos (Ellis, J. and Marsalek J., 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 Dinamarquesa (DHI), DR3M-QUAL del organismo norteamericano de estudios geológicos USGS, etc..

EL SEDIMENTO EN SISTEMAS DE COLECTORES PLUVIOCLOCALES Y PLUVIALES

Tanto en sistemas de desagües pluviales como pluvioclocales 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 (Verbank et al. 1994)(Ashley et al. 1996).

Por otro lado el sedimento capturado en obras de control y tratamiento de sistemas pluviales y pluvioclocales, 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 cada uno puede 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 rivero 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. tratamiento (Verbank, M. 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).

NECESIDADES Y ORIENTACION DE LAS NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACION

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 de 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 contaminantes 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 J. and Hvited-Jacobsen T., 1996)

Sedimentos. Producción, transporte y procesos erosión-sedimentación

Un problema significativo para la evaluación del impacto acumulativo tanto en desagües pluviales como pluvio-cloacales es la producción en la cuenca de sedimentos, su transporte por superficie y redes, los procesos de sedimentación, resuspensión y movilización y su volcamiento 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.

Escorrentamiento 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 pluvio-cloacales, 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 escases 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.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez Díaz , C. (1996); *Aportaciones Metodológicas al Estudio de la Contaminación Litoral originada por vertidos y alivios procedentes de redes de saneamiento urbano*, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, Santander, España

American Society of Civil Engineers (ASCE) and Water Environment Federation (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

Ashley R.M. and M.A. Verbanck (1996), *Mechanics of sewer sediment erosion and transport*, Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, pag. 753-770

Ellis,J.,(1995), *Integrated approaches for achieving sustainable development of urban storm drainage*, Wat. Sci. Tech., 32 (1), pag. 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,pag. 723-732

Ellis,J. and T. Hvited-Jacobsen , (1996); *Urban drainage impacts on receiving waters*; Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, pag. 771-784

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, pag. 161-181

Harremoës P. and W. Rauch (1996), *Integrated design and analysis of drainage systems, including sewers, treatment plant and receiving waters*, Journal of Hydrualic Research, Vol. 34, pag. 815-826

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, Departament of Environmental Engineering, Technical University of Denmark

UDFCD (1992), *Urban Storm Drainage Criteria Manual: Vol. 3*, Urban Drainage and Flood Control District, Denver,CO

Verbank, M., R. Ashley, and A. Bachoc (1994), *Origin, occurrence and behaviour of sediments in sewer systems*, *Water Resources*, 28 pag. 187-194