

Universitat Politècnica de Catalunya
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de
Barcelona
Departamento de Ingeniería Hidráulica,
Marítima y Ambiental

Curso de

Hidrología

Urbana

5^a Edición

Barcelona, Enero de 2004

INDICE

Problemática general del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas <i>Josep Dolz Ripollés</i>	1
Elección del nivel de seguridad de la red de drenaje <i>Manuel Gómez Valentín</i>	13
Información de datos de lluvia. Lluvia de proyecto <i>Manuel Gómez Valentín</i>	29
Lluvia neta. Pérdidas de precipitación. Tiempo de concentración en zona urbana <i>Manuel Gómez Valentín</i>	67
Método racional en zona urbana. Bases conceptuales y aplicación en medio urbano <i>Raúl López Alonso</i>	81
Hidrograma unitario y Modelos de depósitos <i>Manuel Gómez Valentín</i>	113
Transformación lluvia - escorrentía mediante uso de la onda cinemática <i>Manuel Gómez Valentín</i>	125
Análisis del comportamiento hidráulico de rejillas y sumideros <i>Manuel Gómez Valentín</i>	137
Modelos de flujo en calles y criterios de riesgo asociado <i>Leonardo Nanía Escobar</i>	149
Modelo de Lluvia-escorrentía: HEC-1 <i>Hans Sánchez Tueros</i>	179
BMP. Técnicas alternativas de drenaje. Depósitos de retención <i>Manuel Gómez Valentín</i>	201
Predimensionamiento de depósitos de retención en redes de alcantarillado <i>Hans Sánchez Tueros</i>	217
Grandes colectores. Criterios hidráulicos de diseño <i>Josep Dolz Ripollés</i>	239
Estaciones de bombeo en sistemas de drenaje urbano <i>Enrique Cabrera Marcet, Vicente Espert Alemany, Jorge García-Serra García</i>	249
Diseño con régimen permanente: curvas de remanso <i>Hans Sánchez Tueros</i>	287

Movimiento no permanente. Modelos de cálculo <i>Manuel Gómez Valentín</i>	299
Estudio e instrumentación de una cuenca urbana en el municipio de Sant Boi de Llobregat <i>Manuel Gómez Valentín</i>	311
Problemas de calidad de las aguas receptoras en caso de vertido desde colectores unitarios: CSO <i>Manuel Gómez Valentín</i>	331
Gestión municipal: los Planes Especiales de Alcantarillado como figuras de gestión. El caso de Barcelona <i>Pere Malgrat Bregolat</i>	347
Programa nacional de medición de descargas de sistemas unitarios (DSU). Proyecto PROMEDSU <i>Jerónimo Puertas Agudo</i>	369

PROGRAMA NACIONAL DE MEDICIÓN DE DESCARGAS DE SISTEMAS UNITARIOS (DSU)

Jerónimo Puertas¹, Joaquín Suárez¹, José Ramón Barro², Luis Ortega³

1 Universidade Da Coruña
2 Ministerio de Medio Ambiente
3 Infraestructura y Ecología S.L.

1 Antecedentes

Hasta hace pocos años apenas se consideraban los problemas de degradación de la calidad que originan las aguas pluviales ni las aguas vertidas desde sistemas unitarios con alta dilución. Únicamente se prestaba atención al drenaje y control de las inundaciones para evitar los fuertes daños económicos y humanos que podían provocar. Sin embargo, estudios realizados sobre el tema ponen de manifiesto que las aguas pluviales llevan asociada una carga contaminante nada despreciable.

En las zonas urbanas este problema se agrava, ya que la urbanización del suelo incrementa la superficie impermeable, aumentando la escorrentía, y las actividades que sobre él se desarrollan provocan una mayor concentración de contaminantes y de sólidos en suspensión susceptibles de ser arrastrados por un fenómeno tormentoso.

Las experiencias europeas, basadas en campañas de medida (francesas, alemanas, holandesas, inglesas,...) corroboran la idoneidad, efectividad e incluso la rentabilidad a largo plazo de un control de la contaminación pluvial urbana. La contaminación pluvial urbana es un hecho muy preocupante en Europa y en general en los países desarrollados. En España, el Grupo GADU (Gestión Avanzada del Drenaje Urbano) de la AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento), auspiciado por el Ministerio de Medio Ambiente, viene señalando desde hace años la importancia del problema. Varios grupos universitarios también están planteando distintas campañas piloto de análisis del problema.

Aunque no solo es un problema de las redes unitarias, dado que las aguas estrictamente pluviales también generan contaminación, el primer foco de preocupación son los reboses de alcantarillado unitario, también llamados "Descargas de Sistemas Unitarios" de alcantarillado (DSU). Estos reboses están asociados a insuficiencias de drenaje de la red, y se manifiestan como vertidos al medio receptor, con una carga contaminante que proviene de la contaminación de la cuenca urbana en lo que respecta a la fracción pluvial, y de los usos urbanos en lo que respecta a la fracción residual. Las diluciones en el vertido son variables, aunque se podría dar el entorno (3-8) como marco de referencia.

En España apenas se conoce con cierto detalle esta problemática ni se tienen inventariados los desbordamientos, descargas o vertidos pluviales de este tipo. El tipo de contaminación de las cuencas españolas y la eficacia de algunas medidas que se están tomando para paliar sus efectos (tanques de primer lavado de la Confederación Hidrográfica del Norte) son datos necesarios para comprender el problema y son desconocidos al iniciar el presente estudio.

Este hecho ha provocado que dentro del ámbito de competencias del Estado, la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, y más concretamente la Subdirección General de Tratamiento y Control de Calidad de las Aguas, promueva este estudio, alentado por el grupo GADU de la AEAS, con el fin de cuantificar y evaluar el efecto de las descargas de los sistemas unitarios del alcantarillado (DSUs) en época de lluvia, en cinco cuencas piloto de diferentes municipios españoles.

El presente trabajo, realizado por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas con la colaboración de INFRAESTRUCTURA Y ECOLOGÍA, S.L., y la Universidad Da Coruña supone una importante tarea de colaboración entre distintos organismos, empresas y administraciones públicas. La infinidad de ámbitos geográficos de trabajo y de competencias en materia de saneamiento y alcantarillado ha obligado a un amplio trabajo de coordinación y a la gestión de numerosos flujos de información con objeto de recabar los datos necesarios para acometer este trabajo y comunicar progresivamente los resultados obtenidos.

Concretamente, han estado implicados dentro del presente trabajo:

- Ayuntamiento de Madrid. Sección de Alcantarillado.
- Clabsa (Barcelona). Explotación y Control de Vertidos.
- Ayuntamiento de Valencia. Sección de Planificación y Proyectos.
- EMASESA (Sevilla). División de Ingeniería.
- Ayuntamiento de Vitoria - Gasteiz. Sección de Medio Ambiente.

Basta señalar que sin la colaboración de todos ellos, el presente trabajo no habría sido posible.

2 Conceptos fundamentales de descargas de sistemas unitarios

Los primeros esfuerzos en depuración de aguas residuales se centraron en el control de los vertidos puntuales de origen urbano e industrial. Después de un fuerte desarrollo en sistemas de tratamiento se comprobó que en muchos países la calidad de las aguas no era todavía satisfactoria. Se observó que una gran parte del problema era originado por los vertidos intermitentes que se producían durante y después de las lluvias desde los alcantarillados unitarios de los núcleos urbanos. Este tipo de vertidos se denomina "reboses de alcantarillado unitario" (RAU), descargas de sistemas unitarios (DSU), alivios de tormenta (C.H.N., 1995), o "Combined Sewer Overflows" (CSO), en la literatura anglosajona. Fue en EE.UU. donde por primera vez se reconoció la importancia de este problema en la "Federal Water Control Act Amendments" de

1972. Después de años de estudios de caracterización de este tipo de sucesos se propusieron las medidas de control pertinentes y se comprobó el elevado coste económico que suponía minorar la contaminación que era vertida al medio acuático a través de este tipo de vertidos ("Cost Methodology of Combined Sewer Overflows and Storm Discharges", EPA-430/9-79-003). A pesar de que desde esos años se llevan invertidos muchos recursos en el conocimiento y control del problema todavía hoy sigue siendo una de las principales causas de contaminación del agua.

En Europa el control de la contaminación del agua de origen urbano siguió pautas similares a las de EE.UU. y concluyó también, al término de la década de los 80, que la eliminación o minimización de los reboses de los sistemas unitarios debía considerarse como objetivo prioritario en los planes de saneamiento y mejora de la calidad del agua de los sistemas acuáticos. La Directiva 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales es, sin embargo, poco explícita en relación con este problema. Sólo cita de forma genérica que todo tipo de agua que entre en una red unitaria deberá ser tratada y cita de forma explícita la necesidad de minimizar los vertidos de las aguas de tormenta.

Actualmente, se admite que el control de las DSU debe realizarse bajo el principio de la "Gestión Integrada", considerando todas las relaciones que se establecen entre: A) lluvia, B) superficie de cuenca C) sistema de colectores; D) estación depuradora; E) medio receptor aplicando siempre las que son definidas como "técnicas de gestión de la escorrentía urbana (TGEU)" (BMP- "Best Management Practices"). Para poner en práctica estas medidas se necesita tener un buen conocimiento de los siguientes puntos:

1. Objetivos de calidad del agua en el medio receptor
2. Medida y análisis de las lluvias
3. Modelos de transformación de lluvia-escorrentía
4. Caracterización (caudales, concentraciones, distribución granulométrica de los sólidos) y modelado de los reboses
5. Comportamiento de la estación depuradora frente a variaciones de caudal y carga
6. Capacidad autodepuradora del medio receptor

Una visión integral de la gestión del sistema que minimice los impactos y permita alcanzar los objetivos de transporte y mantenimiento de la calidad del agua fijados obliga a desarrollar una estrategia de control total de la contaminación. La contaminación que se permita entrar a la red de saneamiento desde la cuenca (por escorrentía o por aguas residuales urbanas), las transformaciones que dicha contaminación sufra en la red, la capacidad de transporte de la red y las diluciones que se permitan en los reboses, los sistemas de control y tratamiento que se implanten a lo largo de la red, determinarán qué tipo de aguas residuales, caudales y cargas recibirá la EDAR, que condicionarán su diseño y sus estrategias de explotación.

La gestión de las DSU va a ser siempre difícil tal y como se pone de manifiesto analizando simplemente uno de los factores, la lluvia, de naturaleza estocástica, por lo que será imposible una protección absoluta del medio receptor. Se trata entonces de establecer un nivel de contaminación asumible por el medio receptor y asegurar que esa carga no va a ser superada.

La contaminación asociada a un suceso de DSU no es sólo la que proviene del agua residual, que sí proporciona una gran parte de algunos contaminantes, como los nutrientes o la DBO. La concentración de actividades humanas en la cuenca genera deposición de polvo, suciedad, arenas, metales pesados, tóxicos y contaminación bacteriológica sobre las superficies. Estos materiales son lavados y arrastrados por la escorrentía superficial, y al final acaba aumentando la contaminación de las aguas receptoras.

Las cargas contaminantes anualmente vertidas al medio receptor por las aguas de escorrentía son del mismo orden de magnitud que las vertidas por la red de aguas residuales tras tratamiento convencional, al menos para contaminantes como los sólidos en suspensión. Los vertidos de nutrientes y metales pesados desde sistemas separativos y por DSUs desde sistemas unitarios son comparables, calculados por área de superficie pavimentada.

3 Caracterización de las cuencas

El presente estudio se centra en el análisis de las cargas contaminantes que circulan por los sistemas de alcantarillado y que eventualmente pueden ser vertidos al medio receptor en un episodio de lluvia. Se han escogido cinco cuencas correspondientes a cinco ciudades cuyos servicios de gestión del saneamiento se mostraron receptivos a colaborar en el estudio. Estas ciudades son Barcelona, Madrid, Sevilla, Valencia y Vitoria.

La elección de las cuencas no es una labor trivial. Basta comentar que tres de las cinco cuencas piloto inicialmente designadas en el Pliego, después de analizar con detalle su idoneidad para ser incluidas dentro de este estudio piloto, fueron sustituidas por otras en las que los distintos parámetros que afectan al balance de masas estaban más controlados. El hecho de que exista un punto de control claro, y la minimización de interferencias (infiltraciones, aguas parásitas, vertidos industriales,...) son temas clave para escoger una u otra cuenca. La homogeneidad global de la cuenca también es importante a la hora de buscar explicaciones a los resultados que se obtienen.

3.1 Descripción de las cuencas

El proyecto se enmarca en esta primera fase en cinco ciudades y, dentro de ellas, en cinco cuencas con características conocidas. Sólo una de ellas (Arroyo del Fresno- Madrid) puede considerarse una cuenca heterogénea, ya que es de una gran extensión y usos variados. El resto son cuencas pequeñas, de características uniformes y representativas de una tipología, de unos usos urbanos y de una zona climática, por lo que cabe suponer que sus resultados puedan tener cierta extrapolabilidad a cuencas del mismo ámbito geográfico. A continuación se citan las cuencas estudiadas:

Barcelona: Bac de Roda

Es una cuenca urbana, de 170 Ha drenadas, con alcantarillado unitario y entrega al mar Mediterráneo con una sección de dos cajones de 5 metros de anchura y 2 de altura. Su pendiente media es del orden de 0.1%, y su grado de impermeabilidad de 80%. Se trata de una zona

en expansión urbanística, con lo que en un futuro los parámetros de la cuenca pueden variar levemente.

Madrid: Arroyo del Fresno

Es una cuenca mixta, de uso urbano y rural, de 3800 Ha y pendiente media del 2%, con red de saneamiento unitaria y entrega al río Manzanares. Su grado de impermeabilidad es del 37%. Al tratarse de una cuenca de grandes dimensiones, los parámetros que se obtengan se entenderán representativos del conjunto de la cuenca, y no podrán imputarse a un uso concreto.

Sevilla: Los Remedios

Es una cuenca urbana, de 135 Ha y edificación muy densa, con bloques de más de 4 alturas. Incluye los barrios de Triana y Los Remedios, con una pendiente media del 0.5%. Entrega a la estación de bombeo de Los Remedios, junto al río Guadalquivir. Se trata de una cuenca muy homogénea, representativa de un tipo de urbanización y de una zona climática caracterizada por una pluviometría muy escasa.

Valencia: Malvarrosa

Es una cuenca urbana y de muy baja pendiente, con 89.7 Ha totales, de las que 74 Ha están drenadas por la red, correspondiendo el resto a playas. El medio receptor es el Mar Mediterráneo, y cuenta con una estación de bombeo para impulsar las aguas residuales; los alivios son vertidos al mar. El grado de impermeabilización es importante, pero las edificaciones no son muy altas. El clima es mediterráneo.

Vitoria: Almendra

La cuenca, de 132 Ha, cubre el casco antiguo (Almendra) y parte del Ensanche de la ciudad. Las pendientes en la Almendra son muy altas (3% ó más) y se hacen algo más bajas en la zona del Ensanche. El medio receptor es el río Zadorra. Es una zona muy densamente urbanizada, completamente impermeable y con un clima representativo de la zona norte peninsular.

3.2 Características de las cuencas

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, la contaminación de las aguas de escorrentía urbana y de los DSUs está muy condicionada por las características de la cuenca que se estudie. Los procesos de acumulación de la contaminación en la superficie de la cuenca va a depender, sobre todo, de los usos y actividades que en ella se realicen.

Con el fin de recabar una información mínima de los factores que caracterizan a las cuencas seleccionadas se elaboró un cuestionario, que rellenaron los distintos organismos gestores del alcantarillado, y que dio lugar a la tabla de características que se presenta:

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERALIDADES
A. Actividades que se realizan en las cuencas						
Fundamentalmente residencial	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Fundamentalmente residencial con actividad comercial	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Fundamentalmente comercial, con numerosos negocios o empresas en los edificios; pocos residentes	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Centro comercial importante, u otro tipo de actividad, que atraiga a la población	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Parte importante de la cuenca con industria	NO	NO	NO	SI	---	NO
Industria escasa	SI	SI	SI	NO	NO	SI
Identificados los vertidos industriales	SI	NO	SI	SI	---	
Alguna industria con vertidos conflictivos	SI	NO	NO	SI	---	

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERALIDADES
B. Respecto al tráfico						
Atravesada por arterias importantes de la ciudad, con alta carga de tráfico	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Tráfico tranquilo, fundamentalmente de residentes	SI	NO	NO	NO	SI	NO
Calles peatonales	NINGUNA	POCAS	POCAS	NINGUNA	POCAS	NINGUNA/ POCAS

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERALIDADES
C. Pavimentos de las calles						
Piedra (%)			23%	5%		
Aglomerado asfáltico (%)	100%	100%	65%	65%	100%	65% - 100%
Hormigón (%)			2%			
Otros (%)			10%	30% **		0% - 10%

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERA- LIDADES
D. Respecto a la población:						
Densidad media de población (plan de urbanismo, hab/Ha)		64	350	235	90	64 - 350
Población residente en la cuenca	18000	190000	45000	39950	8000	8000-190000
Población es bastante estable y no hay puntas por turismo	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Fiestas o actos con aumento fuerte de población	SI	NO	SI	NO	NO	NO

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERA- LIDADES
E. Respecto a los edificios:						
Nº plantas de los edificios	4-12 MED 6-7	MUY VAR.	3-8	3-4	4	3-8
Sótanos con bombeos	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Tejados						7%
... Con pendiente y tejas (u otro material) (%)	20%		100%	10%	5%	(5% - 100%)
... horizontales, aterrazados (%)	80%		0%	100%	95%	95% (0% - 100%)
Bajantes de los tejados o azoteas están a la red de alcantarillado	SI	SI	SI	SI	SI	SI

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERALIDADES
F. Respecto a los hábitos de limpieza viaria:						
Tipo de limpieza de la calle (% manual / % mecánica)	100%		30% / 70%	25% / 75%	50% / 50%	25% - 75%
Respecto a la limpieza manual:						
... se realiza baldeo / frecuencia			SI / 1 DÍA	NO	SI / 7 DÍAS	1 DÍA / 7 DÍAS
... se realiza barrido / frecuencia			SI / 1 DÍA	SI / 3 DÍAS	SI / 7 DÍAS	1 DÍA / 7 DÍAS
Respecto a la limpieza mecánica						
... se utilizan baldeadoras / frecuencia			SI / 3 DÍAS	NO	SI / 7 DÍAS	0% / 7 DÍAS
... se utilizan barredoras aspiradoras / frecuencia			SI / 1 DÍA	SI / 3 DÍAS	SI / 7 DÍAS	1 DÍA / 7 DÍAS
... se utilizan lavaceras / frecuencia			NO	NO	SI / 30 DÍAS	NO
Campañas limpieza sumideros e imbornales / frecuencia			SI	SI	SI	SI

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERALIDADES
G. Respecto a la vegetación de las calles:						
Existe algún parque o zona ajardinada importante	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Hay calles con árboles	LA MAYORÍA	MUCHAS	ALGUNA	MUCHAS	ALGUNA	ALGUNA / MUCHAS

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERALIDADES
H. Estado de alcantarillado:						
Estado general de la red de alcantarillado	BUENO	BUENO	BUENO	REGULAR	BUENO	BUENO
Infiltración	BAJA	SE DESCON.	BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJAMEDIA

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERA- LIDADES
Contaminación atmosférica						
Fundamentalmente debida al tráfico	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Industria o actividad en la cuenca, o proximidades, que aporta mucho polvo	NO	NO	NO	NO	SI	NO
Industria o actividad en la cuenca, o proximidades, que aporta compuestos nitrogenados	SI	NO	SI	SI	NO	SI

	SEVILLA	MADRID	VITORIA	BARCELONA	VALENCIA	GENERA- LIDADES
Respecto a posible contaminación por obras						
Durante el periodo de estudio en la cuenca piloto ha habido obras de edificación	ALGUNA, POCO IMPORTANTE	ALGUNA, POCO IMPORTANTE	ALGUNA, POCO IMPORTANTE	ALGUNA MUY SIGNIFICATIVA	ALGUNA POCO IMPORTANTE	ALGUNA / POCO IMPORTANTE

4 Objetivos y metodología de trabajo

El objetivo de este estudio es la evaluación y caracterización de las cargas contaminantes asociadas a las DSU. Para ello, se plantean campañas de toma de muestras en tiempo de lluvia, y un posterior análisis de las muestras recogidas.

El tratamiento de los datos obtenidos permitirá una evaluación global de las cargas que aporta a cuenca al medio receptor, y permitirá inferir cómo esta contaminación puede ser paliada con medidas correctoras, como la interposición de depósitos de retención. Se buscará asimismo una comparación entre los resultados obtenidos en las distintas ciudades.

El nivel de aproximación a utilizar en un estudio de caracterización de aguas de escorrentía de tormenta debe ser función de los problemas de impacto sobre la calidad de las aguas en el medio receptor que sea necesario estudiar o solucionar y, consecuentemente, de los objetivos perseguidos que, a su vez, quedan condicionados por los recursos disponibles. Lógicamente, cuanto más preciso sea este nivel, mejor será la definición que se realice del problema físico y más extensos los objetivos alcanzados; todo ello a expensas de un coste más elevado.

En este sentido, existen tres niveles de aproximación que se definen de la siguiente forma en la bibliografía (EPA, 1976, citada en ASCE, 1993):

- a) **Nivel I - Cargas medias anuales aportadas por las tormentas:** Este nivel de aproximación estima la carga total de contaminación aportada por las aguas de tormenta desde una cuenca urbana o un área urbana durante un año. Este tipo de información es útil cuando se estudian problemas de calidad de aguas a largo plazo, tales como problemas de eutrofización, cargas de tóxicos con efectos crónicos, sedimentación, etc. Son datos útiles

para obtener un orden de magnitud, por ejemplo, entre la carga contaminante aportada anualmente por CSO o escorrentía urbana y la aportada por las depuradoras, etc.

- b) **Nivel II - Cargas asociadas a sucesos de tormenta:** Este nivel de aproximación estima la distribución de cargas asociadas a cada suceso de tormenta a o largo de un año e indica la variabilidad de la contaminación total movilizada o generada en cada suceso de tormenta. Este nivel de detalle puede ser necesario cuando se analizan sucesos o problemas transitorios de contaminación tales como problemas de oxígeno disuelto o problemas con concentración de bacterias, etc.
- c) **Nivel III - Variación de la carga durante un suceso de tormenta:** Este nivel de aproximación describe la carga de un suceso de tormenta en función del tiempo en cada suceso. Este nivel de aproximación permite estudiar el efecto de las diferentes fuentes de contaminación y de, por ejemplo, las variaciones en la intensidad de la lluvia y puede indicar la existencia o no de "primer lavado" de contaminantes. Este tipo de estudios es adecuado para el diseño de estructuras de control y tratamiento de aguas de tormenta. Estos niveles de análisis abarcan con precisión creciente desde una relativamente simple carga media anual hasta una detallada representación de la contaminación durante un suceso de tormenta

4.1 Objetivos establecidos para la caracterización de las DSU's en este proyecto

En función de los conceptos descritos en el anterior apartado, se han definido los objetivos perseguidos con la ejecución de los extensos trabajos de campo realizados. Estos objetivos son, en puridad, un paso intermedio que debe afianzarse de forma sólida para cubrir los objetivos finales perseguidos en el presente trabajo.

Por ello, su función, aún siendo importante, es principalmente instrumental.

Son, a grandes rasgos, los siguientes:

- Conocimiento de los niveles de contaminación de tiempo seco en las redes unitarias analizadas; caracterización de la variación horaria de concentraciones y caudales (contaminación de base).
- Caracterización de DSUs de NIVEL II para fósforo y metales pesados.
- Caracterización de DSUs de NIVEL III para DBO₅, DQO, TOC, sólidos, NTK, nitrógeno amoniacal (NH₄⁺) y turbidez.
- Medición de hidrocarburos siguiendo el suceso a partir de muestras simples (NIVEL III).
- En las cuencas de Barcelona y Valencia se analiza la contaminación bacteriológica (NIVEL III).

La organización de la información obtenida, la parametrización de los sucesos muestreados, el tratamiento y análisis posterior de la información va a permitir obtener los verdaderos objetivos del estudio, que son los resultados generalizables a tres escalas espaciales diferentes:

A ESCALA DE CUENCA

- Concentraciones punta de contaminación (mg/l).
- Concentraciones medias en un suceso (mg/l) - Cargas totales movilizadas por unidad de superficie drenada (g/m²).
- Flujo másico máximo registrado (mg/s).

A ESCALA NACIONAL

- Conocimiento de la situación de partida (análisis de un número limitado de ciudades).
- Comparación de las cargas entre cuencas.

5 Evolución temporal de la campaña de muestreo. Incidencias

En este apartado se hace un resumen de cuáles han sido las tareas de campo acometidas y los resultados obtenidos con ellas. También se reseñan los problemas encontrados y su resolución.

Se consideraron los siguientes factores para ubicar las estaciones tomamuestras:

- Representatividad del punto de muestreo, con objeto de que los datos obtenidos contuviesen una información relevante.
- Economía de instalación, para evitar costosas obras de infraestructura (casetas, canalizaciones, etc...).
- Comodidad de acceso para el personal de mantenimiento, con objeto de evitar accidentes y trabajos en condiciones penosas.
- Características hidráulicas favorables para una correcta medida de los valores buscados (caudal, precipitación, etc.), evitando tramos con régimen hidráulico poco definido o afectado de forma grave por singularidades (remansos, flujo inverso, turbulencias, etc.).
- Resguardo frente a inundaciones, con objeto de que fuertes avenidas no afectasen a los equipos de medición

5.1 Instrumentación

Madrid

La estación de Madrid, situada en el colector de Arroyo Fresno, comenzó a funcionar correctamente desde primeros de Febrero de 2000. El 4 de Junio, una tormenta de características torrenciales llegó a inundar la plataforma protegida y elevada más de dos metros en la que se

encontraban situados los equipos tomamuestras y arrastró uno de los datalogger encargado de recoger datos de nivel de lámina que estaba anclado a la pared. Dicho evento interrumpió la toma de datos durante 15 días, hasta que se subsanaron los destrozos cometidos por la inundación.

El pluviómetro fue correctamente instalado en perfecto orden de funcionamiento el 11 de Febrero de 2000 en el cementerio de Fuencarral. Inicialmente la empresa suministradora de los equipos colocó una cazoleta que no era la apropiada y el software no estaba correctamente instalado por lo que se retrasó la toma de datos pluviales. Esta instalación defectuosa del software fue repetida por la misma empresa en Vitoria y Valencia, por lo que dicho retraso aparece en todas estas estaciones. Corregido ya el problema, sus lecturas fueron periódicamente volcadas y comprobadas.

Valencia

En la estación de Valencia, ubicada en la Malvarrosa, los equipos comenzaron a instalarse el 13 de Marzo de 2000 y empezaron a funcionar a principios de Mayo, aunque hubo que realizar una reinstalación y cambio casi completo el 11 de Mayo. El día 25 de Mayo se pasó nuevamente a revisar el correcto funcionamiento de la instalación.

Más adelante aún, el 12 de Diciembre de 2000, hubo que realizar una nueva instalación del limnómetro, ya que sus lecturas no eran correctas. Todos estos problemas venían derivados de la complejidad de medida en la sección ya que, a bajos niveles, era mayor la altura de los residuos acumulados (fango, trapos, etc.), que la de la lámina de agua, lo que provocaba fuertes turbulencias en el agua y un rebote incorrecto de la señal emitida por el sensor.

La medición con caudalímetro Doppler, con objeto de definir la curva de descarga de la sección, comenzó el día 22 de septiembre de 2000 y finalizó el 12 de Diciembre de 2000. Conocidos los problemas de la medida de nivel en el punto de entrada a la cámara de bombeo, se procedió a situar el nuevo sensor en un punto más adecuado del colector de entrada.

Sevilla

La instalación de los equipos de la estación situada en la cuenca de Triana - Los Remedios empezó a principios de Mayo de 2000, una vez terminada por parte de EMASESA la caseta que los debía albergar. Esta estación ha sido la que menos problemas de mantenimiento y explotación ha dado, tanto por un buen diseño inicial del sistema de control como por la selección de un punto de toma de muestras y medida de niveles muy adecuado. Sus caudales de aguas residuales son, además, muy regulares en calidad, con lo que se produce poca descalibración de los equipos. Quizá el mayor inconveniente ha sido el acceso a la tubería, ya que la profundidad del pozo de registro era mucha, aproximadamente cinco metros.

Vitoria

En esta ciudad la instalación empezó el 23 de Febrero de 2000. Se realizaron múltiples visitas, ya que se trataba del sistema de drenaje del que se iban a recabar más datos, lo que obligaba a una mayor atención.

Se dispusieron cuatro estaciones, situadas una de ellas en la propia cuenca en estudio (Eroski), otra en el aliviadero de pluviales (Yurre), otra aguas arriba del cauce del Zadorra en el que se

produce la descarga de aguas pluviales (Azud) y otra aguas abajo (Viveros). Dentro del proyecto inicial tan sólo se consideraba una estación (Yurre) pero se procedió a una ampliación en dos fases, debido al interés mostrado por el Ayuntamiento de Vitoria, y la posterior aprobación por parte de la DGOHCA-MMA. En el presente informe se presentan los resultados de la estación Eroski, que es la que se corresponde con una cuenca urbana.

Barcelona

En este caso la explotación de todo el sistema corrió mediante subcontratación a cargo de CLABSA.

Los vientos de Levante, que provocan la entrada de agua de mar en el colector, han sido un problema continuo en la explotación de esta estación, ya que han provocado disparos del tomamuestras sin correspondencia con caudales de lluvia y descalibraciones en las sondas debido a las fuertes oscilaciones de pH y conductividad que supone pasar de agua residual a agua de mar.

También se han dado algunos problemas de programación del equipo, lo que ha hecho que en algunos sucesos de lluvia no se hayan cogido las muestras con la cadencia inicialmente marcada. No se ha realizado más que una campaña de tiempo seco, concretamente el 4 de Octubre de 2000, ante la dificultad de cambiar el emplazamiento de los equipos.

6 Síntesis de resultados

Los resultados del estudio son muy prolijos, y es el Ministerio de Medio Ambiente el responsable de su difusión completa. Se avanza no obstante un extracto con los resultados más notables, y unos breves comentarios sobre ellos. Se plantean tres tipos de resultados: tablas de valores promedio, correlaciones entre parámetros, y gráficos sobre funciones de probabilidad, que permitan ver la distribución de los resultados, bien por cuencas, bien agrupados.

6.1 Tablas de resultados por parámetros

Se presentan a continuación los resultados promediados para los distintos parámetros considerados:

Concentración máxima (mg/l).

- Medida puntual, sujeta a valores poco representativos
- No se puede calcular para muestras compuestas (metales)
- Muy sensible a la energía cinética inicial del medio (pendiente, intensidad de lluvia,...).

Concentración media de suceso (CMS) ponderada al volumen de escorrentía (mg/l).

- Valor promediado, útil para calcular masa total de contaminación.
- Se puede calcular para todas las muestras.
- Poco sensible a singularidades y factores geométricos.

Carga total movilizada a lo largo del suceso (g/m²).

- Se calcula a partir de la CMS y del área de la cuenca.
- Presenta valores bajos para cuencas no muy urbanizadas.
- Es sensible a singularidades de la cuenca como obras, etc.

Flujo másico máximo instantáneo (mg/s).

- Es muy sensible a valores singulares y a la cinética inicial de la cuenca.
- Tiene una interpretación parecida a la concentración máxima.
- Es útil para modelar un pico de contaminación al medio receptor.
- No se calcula para los metales (muestra compuesta).

Concentración máxima

Concentraciones máximas (mg/l)	Se	M	B	Vi	V	Promedio
DQO	1716.6	1344.4	1475.0	1395.8	568.7	1300.1
DBO5	759.0	792.1		521.1	340.7	603.2
COT	58.9	100.5	66.7	52.7	62.5	68.3
NTK	86.3	72.1	46.0	41.8	53.0	59.9
NH4+	45.9	37.6	13.2	16.9	19.7	26.7
P-total	5.0	7.5	23.0	5.5	6.2	9.5
SS	1722.2	1189.2	1239.0	965.9	560.7	1135.4
SSV	1266.6	744.8		572.4	331.4	728.8
SD	551.2	893.5	4775.5	536.5	1496.0	1650.5
SDV	304.0	572.2		340.0	483.5	424.9
ST	2200.8	1801.8	5790.8	1313.2	1941.2	2609.6
Turbidez	356.8	323.4		240.9	226.1	286.8
Cond.	0.8	0.9	5.3	0.8	1.5	1.9
Temp	20.3	17.5	11.2	20.3	20.1	17.9
pH	8.4	8.4	6.5	8.0	8.1	7.9
HC (dis)	11.0	10.7	8.8	5.973	8.5	9.0

Se observa una cierta uniformidad en los valores obtenidos en todas las cuencas. Si se consideran los indicadores más habituales, los sólidos en suspensión y la DQO, se perciben valores muy semejantes en todas las cuencas salvo en Valencia. Este hecho, que se repetirá

sistemáticamente, se debe a que los sistemas de evacuación de aguas de Valencia asumen los excedentes de las acequias de regadío, lo que supone una fuente de aguas parásitas difícil de evaluar y de segregar. Los resultados obtenidos en Valencia no se considerarán a la hora de proponer tendencias generales para las cuencas del territorio estatal.

Contaminación media de suceso

CMS (mg/L)	Se	M	B	Vi	V	Promedio
DQO	833.7	679.8	583.9	670.8	293.2	612.3
DBO5	388.8	384.3		324.0	166.2	315.8
COT	35.0	53.2	33.2	22.2	34.9	35.7
NTK	46.4	38.0	17.1	20.2	40.5	32.4
NH4+	22.0	19.0	5.7	8.2	13.8	13.8
P-total	4.9	7.5	9.0	5.5	6.2	6.6
SS	733.4	597.3	527.5	421.2	229.4	501.8
SSV	486.7	353.3		224.0	134.3	299.6
SD	324.9	361.7	631.3	272.8	964.4	511.0
SDV	131.6	173.0		147.5	279.1	182.8
ST	1058.3	959.0	1158.8	694.0	1193.8	1012.8
Turbidez	222.0	209.6		117.2	125.0	168.5
Cond.	0.5	0.7	1.4	0.5	1.3	0.9
Temp	18.9	16.4	22.4	18.7	19.5	19.2
pH	7.4	8.0	7.6	7.4	7.6	7.6
Cu (dis)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Zn (dis)	0.4	0.3	0.0	0.9	0.2	0.4
Pb (dis)	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
HC (dis)	5.1	5.7	4.7	3.2	1.4	4.0

La tabla de concentraciones medias de suceso es probablemente la más interesante, al no proponer un valor puntual sino una estimación de la carga media transportada durante todo el suceso de lluvia. Es asimismo el valor más extrapolable, y sobre el que hay más referencias bibliográficas. Como se puede apreciar, hay una cierta homogeneidad entre los valores medidos en las distintas cuencas, con las salvedades ya comentadas para el caso de Valencia.

A continuación se comparan los datos obtenidos para algunos de los parámetros con los recogidos en la bibliografía:

Los datos obtenidos están dentro de los órdenes de magnitud recogidos en la bibliografía, aunque conviene resaltar que los valores de DQO y sólidos en suspensión (SS), indicadores habituales, están en el extremo superior de los intervalos propuestos, e incluso sobre ellos.

		ALEMANIA	GRAN BRETAÑA	NOVOTNY (1991)	LARGER	METCALF - EDDY
		Varios fuentes	ELLIS (1989)	[3]	[1977]	[1991]
		[1]	[2]		[4]	[5]
CMS (mg/L)	Promedio					
DQO	612.27	80 - 230	250 - 530 [380]	----	264 - 481 [367]	260 - 480
DBO5	315.82	12 a 82	43 - 225 [90]	60 - 200	59 - 222 [115]	60 - 220
NH4+	13.77	3.8 - 11.7	3.1 - 8.0 [6]	----	----	----
P-total	6.63	1.8 - 2.7	6.5 - 14.0 [10]	1a11	1.23 - 2.78 [1.95]	1.2 - 2.8
SS	501.77	45 - 55	176 - 647 [425]	100 - 1100	273 - 551 [370]	270 - 550
Cu (dis)	0.04	0.06 - 0.4	0.10 - 1.07 [0.87]	----	----	----
Pb (dis)	0.13	0.01 - 0.1	0.08 - 0.45	0.40	0.14 - 0.60 [0.37]	0.14 - 0.60
		ELLIS	HOLANDA	US-EPA, 1978	AGUA RESIDUAL	EFLUENT
		[1986]	NWRW (1991)		TÍPICA	EDAR - TÍPICO
		[6]	[7]		[5]	91/271
CMS (mg/L)	Promedio					
DQO	612.27	----	148 - 389		250 - 1000	< 125
DBO5	315.82	60 - 200	40 - 124	15	110 - 400	< 25
NH4+	13.77	----	----		12 a 50	
P-total	6.63	1a11		2	4 a 15	< 1 (<2)
SS	501.77	100 - 1000	105 - 320	370	100 - 350	< 35
Cu (dis)	0.04	----	0.04 - 0.05		----	----
Pb (dis)	0.13	0	0.04 - 0.1	0	----	----

Carga movilizada

La carga movilizada es un valor independiente de las posibles fuentes de agua parásita limpia que se aporten a la cuenca, y sólo da idea de la contaminación disponible y movilizada en superficie y en el sistema de colectores. Los valores son en este caso altos para la cuenca de Valencia, lo que indica que la contaminación disponible para su movilización es muy alta.

Es muy destacable el hecho de que los colectores de Valencia y Barcelona son los de mayores dimensiones, debido a las características de la precipitación en la zona mediterránea. Este hecho, unido a las bajas pendientes, conlleva unas deposiciones en los colectores que serán movilizadas durante los sucesos de lluvia y que son de gran magnitud, por encima de los del resto de ciudades, con sistemas de drenaje más reducidos, y menor carga depositada.

Cargas movilizadas (g/m2)	Se	M	B	Vi	V	Promedio
DQO	1.30	0.20	10.48	0.95	2.59	3.1
DBO5	0.55	0.11		0.42	1.49	0.6
COT	0.05	0.02	0.78	0.03	0.52	0.3
NTK	0.05	0.01	0.23	0.02	0.39	0.1
NH4+	0.02	0.00	0.08	0.01	0.24	0.1
P-total	0.01	0.00	0.09	0.01	0.07	0.0
SS	1.28	0.21	9.08	0.67	1.88	2.6
SSV	0.83	0.11		0.35	1.17	0.6
SD	0.47	0.11	15.06	0.47	14.52	6.1
SDV	0.18	0.07		0.28	3.54	1.0
ST	1.75	0.32	24.93	1.15	16.39	8.9
Cu (dis)	0.00006	0.00002	0.00033	0.00007	0.00029	0.00015
Zn (dis)	0.00066	0.00014	0.00048	0.00267	0.00162	0.00111
Pb (dis)	0.00069	0.00003	0.00028	0.00022	0.00052	0.00035
HC (dis)	0.00947	0.00170	0.04149	0.00466	0.01082	0.01363

Flujo másico

El flujo másico es difícilmente comparable entre unas cuencas y otras, ya que depende de la magnitud de la cuenca. Los valores de Barcelona son muy altos para los sólidos y sus parámetros asociados (DQO) ya que las tasas de contaminación disponibles en el sistema de drenaje de Barcelona también lo son. El hecho de que la cuenca de Bac de Roda incluyese zonas de obras con gran producción de sólidos puede ser una causa de estos valores, adicional a la ya apuntada en el apartado anterior. Los valores altos de Madrid se deben a la gran magnitud de la cuenca, a pesar de que la carga disponible por metro cuadrado no es muy alta.

Flujos masicos inst. max. (Kg/s)	Se	M	B	Vi	V	Promedio
DQO	0.50	3.62	6.34	1.04	0.83	2.47
DBO5	0.21	2.11		0.49	0.53	0.83
COT	0.02	0.25	0.47	0.03	0.19	0.19
NTK	0.02	0.17	0.14	0.02	0.11	0.09
NH4+	0.01	0.08	0.04	0.01	0.06	0.04
P-total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SS	0.56	3.43	7.13	0.72	0.63	2.49
SSV	0.37	2.05		0.42	0.42	0.81
SD	0.19	2.43	36.10	0.38	4.34	8.69
SDV	0.11	1.75		0.24	1.24	0.83
ST	0.71	5.17	41.08	1.01	4.92	10.58
HC (dis)	0.00	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01

6.2 Correlaciones entre parámetros

Está ampliamente reconocido en la bibliografía que algunos de los parámetros indicadores de la contaminación están correlacionados. Así, es habitual aceptar que existe una alta correlación entre la DQO y la DBO5, y de ambas con los sólidos en suspensión. Del mismo modo, los metales suelen tener altas correlaciones los unos con los otros, y también con los sólidos.

Por otro lado, los nutrientes (N, P), suelen estar correlacionados entre sí.

Estas tendencias se han comprobado en las cuencas objeto de estudio. Se presenta como ejemplo la tabla de coeficientes de correlación cruzada obtenida para el parámetro concentración máxima en la cuenca de Madrid.

El informe del proyecto incluye ajustes de regresión entre las variables que presentan coeficientes relevantes, tanto de tipo univariante como multivariante: en este último caso se aporta también un análisis de la varianza.

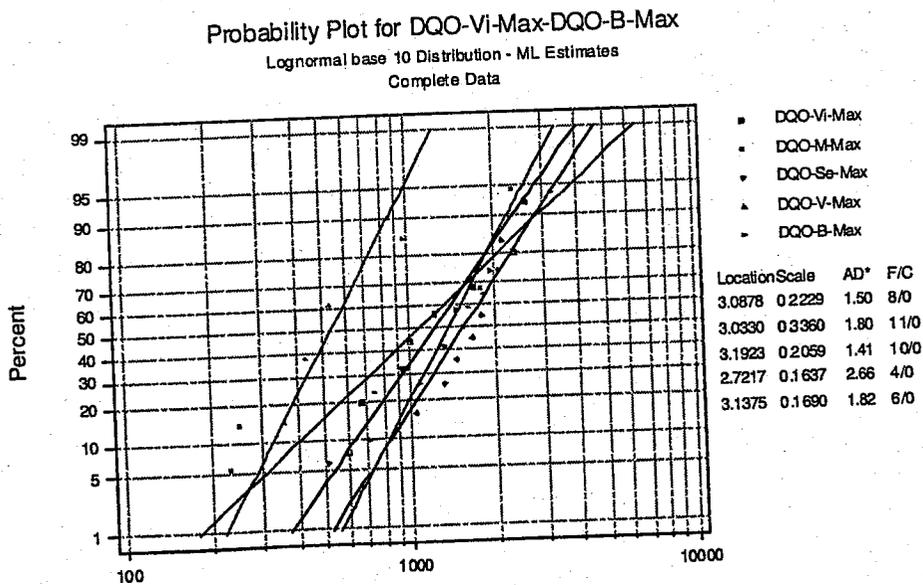
Concentración máxima

	DOO	DBO5	COT	NTK	NH4+	P-total	SS	SSV	SD	SDV	ST	Turbidez	Cond	Temp	pH	Cu (dis)	Zn (dis)	Pb (dis)	HC (dis)
DQO	1.000	0.916	0.508	0.631	0.5189	0.5211	0.8376	0.9073	0.2762	0.1494	0.6867	0.8472	-0.091	-0.024	-0.17	0.527	0.7338	0.5318	0.7064
DBO5	0.916	1.000	0.345	0.5168	0.4987	0.4339	0.8071	0.8799	0.2379	0.1624	0.6971	0.7834	-0.159	-0.02	-0.155	0.3829	0.8272	0.6779	0.8427
COT	0.506	0.345	1.000	0.1301	0.177	0.0538	0.2457	0.4159	0.4378	0.3476	0.332	0.8213	-0.301	-0.694	-0.708	0.1337	0.3422	0.0095	-0.017
NTK	0.631	0.517	0.130	1.000	0.896	0.7791	0.4609	0.4817	0.2805	0.1923	0.4157	0.4532	0.434	0.2949	0.2182	0.3813	0.3716	0.1084	0.3101
NH4+	0.519	0.499	0.177	0.896	1.000	0.6861	0.3047	0.3929	0.3134	0.2117	0.3328	0.4267	0.4237	0.1405	0.1051	0.4086	0.5402	0.1924	0.2139
P-total	0.521	0.434	0.054	0.7791	0.6861	1.000	0.4967	0.4326	-8E-05	-0.091	0.2542	0.285	-0.042	0.1444	-0.027	0.4423	0.3473	0.3061	0.3645
SS	0.838	0.807	0.246	0.4609	0.3047	0.4967	1.000	0.9355	0.202	0.0733	0.7972	0.6201	-0.297	0.0628	-0.168	0.5739	0.6597	0.7197	0.829
SSV	0.907	0.880	0.416	0.4817	0.3929	0.4326	0.9355	1.000	0.3311	0.1923	0.818	0.7744	-0.24	-0.04	-0.246	0.604	0.8048	0.7399	0.8
SD	0.276	0.238	0.438	0.2805	0.3134	-8E-05	0.202	0.3311	1.000	0.9704	0.7279	0.5214	0.2815	0.1214	0.0647	-0.062	0.3537	0.0964	0.2524
SDV	0.149	0.162	0.348	0.1823	0.2117	-0.091	0.0733	0.1923	0.9704	1.000	0.6481	0.4331	0.2812	0.1404	0.1097	-0.28	0.2248	-0.016	0.2195
ST	0.687	0.697	0.332	0.4157	0.3328	0.2542	0.7972	0.818	0.7279	0.6481	1.000	0.6818	-0.036	0.166	-0.022	0.2786	0.6487	0.5722	0.7665
Turbidez	0.847	0.783	0.821	0.4532	0.4267	0.285	0.8201	0.7744	0.5214	0.4331	0.6818	1.000	-0.2	1.6285	0.7359	-0.034	-0.13	-0.433	-0.213
Cond.	-0.091	-0.159	-0.301	0.434	0.4237	-0.042	-0.297	-0.24	0.2615	0.2812	-0.036	-0.2	1.6285	0.7359	-0.034	-0.13	-0.433	-0.213	-0.213
Temp	-0.024	-0.020	-0.694	0.2949	0.1405	0.1444	0.0826	-0.04	0.1214	0.1404	0.166	-0.385	0.6285	1.000	0.9546	0.0791	-0.04	0.0681	0.3028
pH	-0.170	-0.155	-0.708	0.2182	0.1051	-0.027	-0.168	-0.246	0.0647	0.1097	-0.022	-0.468	0.7359	0.9546	1.000	-0.077	-0.186	-0.131	0.098
Cu (dis)	0.527	0.383	0.134	0.3813	0.4086	0.4423	0.5739	0.604	-0.062	-0.28	0.2786	0.2184	-0.034	0.0791	-0.077	1.000	0.6244	0.5955	0.2878
Zn (dis)	0.734	0.827	0.342	0.3716	0.5402	0.3473	0.6597	0.8048	0.3537	0.2248	0.6487	0.6349	-0.13	-0.04	-0.186	0.6244	1.000	0.829	0.6977
Pb (dis)	0.532	0.878	0.009	0.1084	0.1924	0.3061	0.7197	0.7399	0.0964	-0.016	0.5722	0.3298	-0.433	0.0681	-0.131	0.5955	0.829	1.000	0.7953
HC (dis)	0.706	0.843	-0.017	0.3101	0.2139	0.3645	0.829	0.8	0.2524	0.2195	0.7665	0.4829	-0.213	0.3028	0.098	0.2878	0.6977	0.7953	1.000

6.3 Distribución de los datos. Tendencias globales

Una vez obtenidos los datos más relevantes para cada una de las cuencas, y observadas las relaciones entre parámetros, se plantea la extrapolabilidad de los resultados: es decir, el hecho de que los resultados obtenidos para una cuenca sirvan para reproducir comportamientos en otra.

Se ha realizado un análisis de los datos obtenidos, mediante su ajuste a distintas funciones de distribución. En términos generales la función de mejor ajuste es la lognormal. En la presente síntesis sólo se presentarán datos sobre el soporte de la distribución lognormal.



El objeto de las gráficas como las que se presentan es intentar percibir coincidencias entre tendencias mediante la comparación de sus respectivas curvas de ajuste. A continuación se presenta la curva correspondiente a la concentración máxima de DQO:

Se puede observar como, salvo en el caso de Valencia, las tendencias son muy similares. La excepcionalidad de Valencia ya ha sido comentada, y más bien cabe una justificación sobre el porqué de una similitud en cuencas tan distintas.

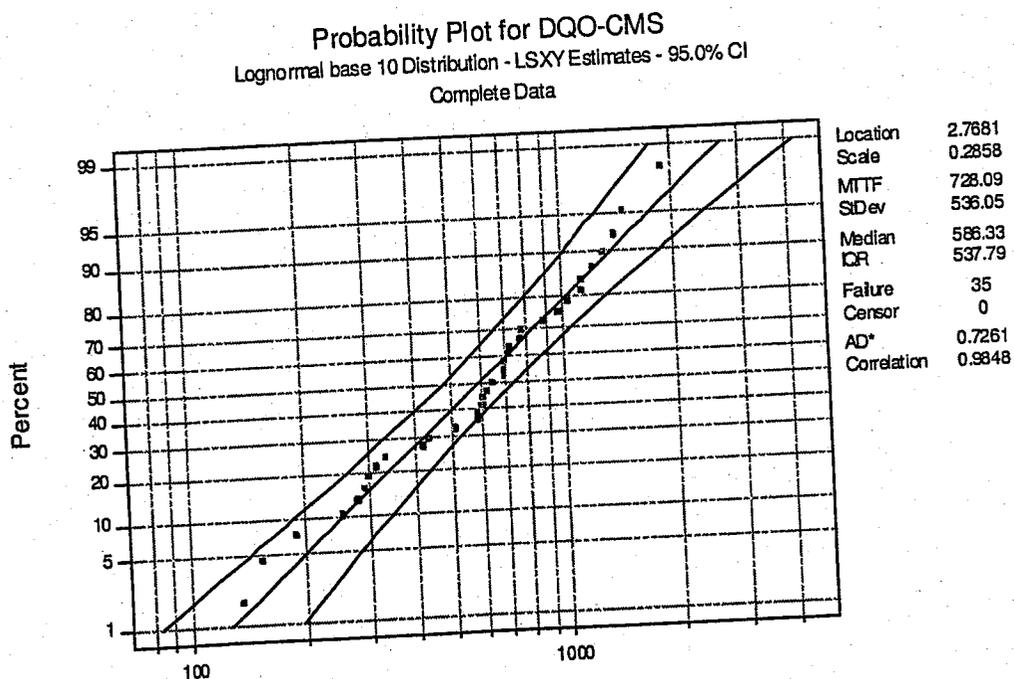
Lo primero que cabe apuntar es que dicha similitud afecta al orden de magnitud, ya que las escalas presentadas son logarítmicas.

Las cuencas presentadas incluyen usos del suelo relativamente parecidos (salvo Madrid, con algo menos de impermeabilidad), pero regímenes pluviométricos muy distintos. A ciudades como Valencia y Barcelona, de pluviometría de tipo mediterráneo, se opone por ejemplo Vitoria, con un régimen pluviométrico mucho más continuo, y Madrid y Sevilla, como caso intermedios.

Aceptando una carga en superficie parecida en todas las ciudades, debida a un uso del suelo similar, un régimen pluviométrico con intensidades mayores debería generar menores concentraciones. Esto es así en Valencia, pero el efecto de las acequias es dominante. En el caso de Barcelona, sin aportaciones parásitas, la concentración es homologable al resto.

La explicación que se propone es que las máximas concentraciones no se deben esencialmente a la contaminación de superficie, sino al arrastre de la contaminación sedimentada en los colectores durante el tiempo seco.

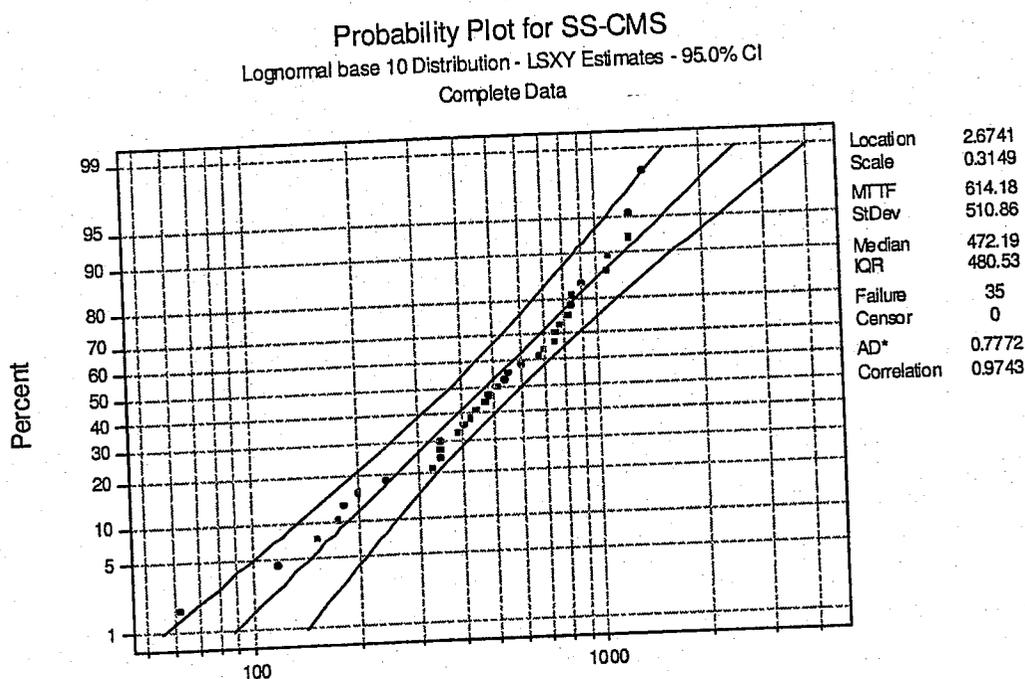
Los colectores de Barcelona son mucho mayores que los de Vitoria o Sevilla para una superficie similar. Las cargas sedimentadas en tiempo seco en Barcelona serán por tanto muy superiores: de hecho se constató un alto grado de sedimentación en el colector de Bac de Roda.



Dado que los colectores están dimensionados para el régimen pluviométrico de cada cuenca, la relación entre los caudales que circulan por el colector y la magnitud de éste es más o menos invariante. Si la masa sedimentada es proporcional al tamaño del colector, y el caudal circulante también, la concentración máxima, que puede ser interpretada como una relación entre la masa sedimentada y el caudal circulante, será también invariante, y lo mismo cabe decir, con mayor propiedad, de la contaminación media de suceso.

Desde este punto de vista, si se agrupan todos los datos independientemente de la cuenca a la que pertenecen (con la excepción de Valencia), se puede obtener un ajuste con muy alta correlación.

Lo que se ha apuntado para la DQO es también aplicable a otros contaminantes siempre que se puedan correlacionar con la fracción sólida, que es la que sedimenta. Así, los sólidos en suspensión también presentan un buen empaquetamiento, como se aprecia en la siguiente figura.

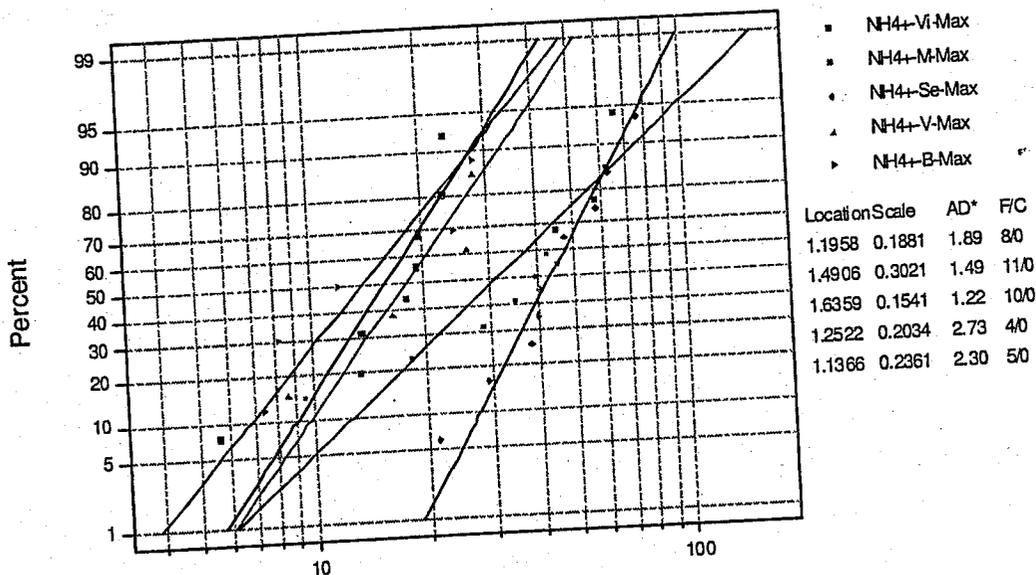


Para los contaminantes no asociados a la fracción sólida sedimentable, las tendencias son muy dispares. En el caso del nitrógeno amoniacal, se observa como Barcelona, con caudales muy altos, arroja concentraciones muy bajas, mientras que Sevilla, con gran densidad de población en la cuenca, presenta valores de la concentración mucho más altos. En este caso, y en general en aquellos en que la correlación con los sólidos es baja, la agrupación no es posible.

Se han estudiado las tendencias para la carga por unidad de superficie y para el flujo másico. Estos parámetros dependen de la magnitud de los colectores y de la cuenca, y son difícilmente agrupables.

En suma, la contaminación media de suceso es el parámetro más extrapolable, y presenta valores razonablemente uniformes para aquellas cuencas sin interacciones parásitas y para los parámetros que correlacionan bien con los sólidos sedimentables.

Probability Plot for NH4+-Vi-Max-NH4+-B-Max
 Lognormal base 10 Distribution - ML Estimates
 Complete Data



Las gráficas presentadas para estos parámetros son uno de los resultados más notables del estudio, cuyas conclusiones todavía están abiertas, y cuya segunda fase se licitará, probablemente, este año.