

# El medio físico en la planificación y gestión del territorio. Algunos ejemplos.

JORDI COROMINAS

Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya. Gran Capitán s/n. Edificio D-2. 08034 Barcelona

## RESUMEN

El medio físico ha ejercido una notable influencia en la localización inicial de los asentamientos humanos. La ciudad moderna, ha transformado su entorno profundamente, a menudo, con impactos ambientales negativos. La inclusión del análisis del medio físico en los estudios de planificación territorial se justifica tanto por los condicionantes que éste impone al crecimiento, como por la necesidad de minimizar los cambios en la dinámica de los sistemas naturales y la gestión eficiente de los recursos naturales. Los estudios sobre el medio físico pueden clasificarse según su objetivo, en estudios de planificación regional y estudios de impacto ambiental.

Se presenta el caso del delta del río Besòs como ejemplo de utilización conflictiva del medio físico. En las últimas décadas, los puntos de captación de agua en el delta se desplazaron, lo que se alteró la piezometría del área. Los sótanos de edificios construidos cuando el nivel freático estaba bajo por las extracciones, se inundaron al interrumpirse éstas. Para resolver el problema, en algunos casos se determinó el bombeo intensivo para rebajar de nuevo el nivel freático. Esta acción unida a la de nuevos pozos, provocó la penetración de una cuña de agua marina que forzó el cierre de varias captaciones de agua para abastecimiento urbano.

Los gestores del territorio difícilmente perciben los cambios producidos en el medio físico como consecuencia de sus decisiones, a causa de la escala temporal de los procesos naturales. Esto es especialmente dramático en los sistemas naturales complejos. Un caso paradigmático es la cuenca del río Ebro donde los sistemas de regulación y de corrección de la cuenca en cabecera, son los responsables de la actual inestabilidad y retroceso de su delta. Se concluye en que sólo una gestión global que tenga en cuenta la dinámica de los sistemas naturales puede encontrar una salida a los problemas planteados.

## ABSTRACT

Physical environment has exerted a noteworthy influence on the location of human settlements. Modern cities have deeply changed their environment, often with negative a impact. The inclusion of the physical environment analysis into land-use planning can be justified by its restrictions on the urban growth, the necessity of minimizing the changes on the dynamics of natural systems, and the efficiency in the natural resources management. According to their objectives, physical environment studies can be classified in land-use planning and environmental impact studies.

The Besòs river delta is shown as an example of conflictive physical environment management. Last decades pumping sites in the delta shifted and changed the groundwater levels. Basements built while levels were low, were drawn after the abandonment of the wells. To solve this problem, intensive pumping was decided in some cases to withdraw the water table. This solution along with new wells performed, induced the marine water to penetrate into the delta, forcing the abandonment of some water supply wells.

Decision-makers hardly perceive the consequences of their decisions on the environment because of the natural processes time-scale. This is especially important in complex natural systems. In the Ebro river basin, headwater corrective works and water schemes are responsible for the present instability and regression at the delta front. We conclude that only a global management that takes into account the dynamics of natural systems would be able to give an answer to the problems created.

## INTRODUCCIÓN

Los criterios de selección de lugares aptos para asentamientos humanos han ido cambiando a lo largo de la historia (Centeno et al., 1987). Las sociedades primitivas mantienen una dependencia directa de su entorno, se adaptan a él y buscan abrigos naturales para cobijarse. Las ciudades medievales necesitadas de un acceso a rutas de transporte, suelos fértiles, agua y protección frente a eventuales invasores se desarrollan en contextos fisiográficos favorables, cerca de los cursos fluviales, en promontorios de defensa eficaz y con fácil comunicación exterior (valles fluviales, depresiones intramontañas o ensenadas costeras). La ciudad pre-industrial se amolda al relieve respetando las grandes líneas del paisaje, pero, una vez asentada la población y la ciudad ha creado su propia infraestructura, el papel del medio físico pasa a ser secundario, influyendo básicamente en la definición de las direcciones de crecimiento horizontal. Durante la revolución industrial, aparecen nuevas ciuda-

des en relación directa con la explotación de los recursos naturales (minería del carbón, metales). En la actualidad, los avances tecnológicos permiten que el asentamiento y estructura ciudad moderna se rija por directrices políticas, demandas sociales, entramado de comunicaciones, necesidades funcionales y propuestas exclusivamente urbanístico-arquitectónicas. La ciudad moderna tiene una gran capacidad para modificar su entorno y se ha independizado de los recursos naturales mediante grandes obras de infraestructura (traída de agua, transporte de alimentos, materias primas y energía, entre otros). Por otro lado, la especialización como consecuencia de los adelantos científicos y técnicos, hace que los moradores de las ciudades pierdan la visión integral de las relaciones del hombre con la naturaleza y ésta haya sido progresivamente ignorada y minusvalorada. Esto explica que las grandes conurbaciones invadan enormes extensiones de territorio, generando en algunas regiones déficits de recursos, impactos negativos sobre el medio natural, pérdida de la calidad de vida y una mayor incidencia de los riesgos naturales.



Figura 1a.- Llanura aluvial de la riera de Les Arenes a la altura de Rubí. Nótese la presencia del cauce que es salvado mediante un pequeño puente antes de la crecida de 1962 (foto TAF-La Vanguardia).

El concepto de ordenación del territorio nace con la ciudad moderna. Hasta tiempo reciente y con pocas excepciones, los criterios utilizados en la asignación de usos en un territorio obviaban el medio físico. El motivo habría que buscarlo en la visión exclusivamente antropocéntrica y urbana de la planificación. Es decir, el centro de interés es el núcleo habitado y las actividades conexas (industria, servicios, infraestructuras). La zonificación del entorno urbano se establece en función del grado de edificabilidad mientras que el resto carece de potencialidad propia y es considerado "suelo no urbanizable" siendo éste el origen del permanente conflicto campo-ciudad. Sólo en los Estados Unidos, anualmente alrededor de 6000 km<sup>2</sup> de tierras agrícolas se convierten en urbanas (Marsh, 1978).

En este sentido, la Ordenación del Territorio debería tener entre sus objetivos la reducción del número de conflictos y de impactos ambientales negativos en relación a la propia sociedad y la naturaleza. La tarea del planificador debe dirigirse a la consecución de un crecimiento que haga compatible la coexistencia de diversos usos del territo-

rio, mejorando la calidad de vida y evitando la degradación entorno natural. La cantidad de variables que intervienen, hacen de esta labor un campo multidisciplinar y complejo.

#### IMPORTANCIA DEL MEDIO FÍSICO EN LA ORDENACIÓN Y GESTIÓN DEL TERRITORIO

El medio físico es un elemento básico a considerar dentro de la ordenación territorial, no sólo por constituir el marco donde ésta se plantea sino también para conseguir una mejor eficacia en su gestión. En lo que se refiere a este último aspecto, existen diversas razones para incluir el análisis del medio físico en la planificación (Corminas, 1982):

a) El medio físico como elemento limitante. El relieve, la capacidad constructiva de los terrenos y los riesgos naturales constriñen a menudo el diseño del territorio (figura 1). El relieve como se ha visto, es un elemento clave en la localización de los asentamientos humanos y tam-



Figura 1b.- Vista del mismo lugar de la Figura 1a después de la crecida del 25 de Septiembre de 1962 (foto TAF-La Vanguardia).

bién de la red de comunicaciones. En las regiones de montaña, en la medida que las alternativas de trazado son escasas, el diseño de las vías de comunicación debe contemplar los riesgos naturales. La interrupción de carreteras por crecidas fluviales o deslizamientos obliga a largos rodeos con graves trastornos económicos y sociales, como se constató en el Pirineo catalán durante las lluvias torrenciales de Noviembre de 1982 o, en los deslizamientos de Octubre de 1987 de la Massana, Principat d'Andorra y Noviembre de 1994, en Gerri de la Sal y Vielha.

A nivel urbano, pueden encontrarse multitud de ejemplos del condicionamiento del medio físico. Los cursos fluviales que han actuado de polo de atracción de los núcleos de población son, al mismo tiempo, una barrera que encorseta el diseño urbano y un riesgo para los moradores de sus márgenes. El crecimiento urbano en zonas de elevada pendiente causa, en el mejor de los casos, un notable encarecimiento de la edificación por excavación de desmontes, complica el diseño de red viaria, dificulta el acceso de los vehículos de servicios (recogida de basuras, extinción de incendios) y obliga a mayores alturas de bombeo en el abastecimiento de agua (más consumo energético, aumento de la sobrepresión en la red y pérdidas por fugas, etc). Por otro lado, la presencia de litologías muy deformables requiere procedimientos constructivos especiales, del mismo modo que la existencia de riesgos aconseja diseños especiales.

b) Modificaciones de la dinámica de los sistemas naturales. Hay que distinguir dos efectos. Por un lado, el proceso urbanizador y la gestión poco respetuosa con el territorio modifican el medio físico con un impacto negativo en los sistemas naturales. Uno de los más graves es pérdida de suelo por erosión. La introducción de técnicas agresivas de explotación forestal y de cultivo, los incendios, las excavaciones y desmontes, no solo redundan en la pérdida del suelo sino que además se reduce la infiltración de las aguas de lluvia en el subsuelo, los recursos acuíferos y aumenta la magnitud de las crecidas fluviales.

Otras modificaciones tienen impactos directos sobre la propia colectividad. El proceso urbanizador cambia el régimen hidráulico de los cursos fluviales. La impermeabilización del suelo aumenta el coeficiente de escorrentía, reduce el tiempo de concentración de las aguas e incrementa el caudal punta de crecida (Leopold, 1972). Mediante este proceso, las crecidas se vuelven más frecuentes y afectan a áreas inicialmente libres de las mismas.

La calidad de las aguas subterráneas puede verse afectada por ciertas actividades como ocurrió cerca de

Niágara, en el estado de Nueva York, donde en los años veinte fueron vertidos y enterrados residuos tóxicos. El área fue posteriormente urbanizada y cincuenta años más tarde, la contaminación de las aguas y el suelo causó graves problemas de salud. Un total de 700 familias tuvieron que ser reinstaladas y el coste incluido la extracción del suelo se acercó a los 100 millones de dólares (Elliott, 1980; Llamas, 1981). En el aluvial del río Llobregat algunas extracciones de áridos fueron rellenadas con residuos. La presencia de tetracloro-etileno obligó a la paralización durante más de un año de algunos pozos de la Sociedad General de Aguas de Barcelona, situadas aguas abajo de las mismas (Vilaró, 1977).

c) Gestión eficaz de los recursos naturales. La escasez de los recursos naturales es un problema acuciante en algunas regiones. Uno de los factores que más han influido es la falta de previsión de los recursos necesarios para mantener un crecimiento como el realizado. El recurso más problemático es el agua. Una muestra es el litoral mediterráneo donde importantes núcleos de población como el área de Tarragona-Reus, con más de 200,000 habitantes, sufrieron durante años restricciones en el consumo y para cuya solución tuvo que recurrirse al trasvase de aguas del río Ebro. El déficit de recursos de esta zona se había previsto bastantes años antes de que las restricciones empezaran (Servicio de Estudios del Banco de Urquijo, 1969). En las zonas costeras, la falta de gestión y control sobre los acuíferos llevó a la inutilización de los recursos hídricos por sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas debido a intrusión salina (Custodio et al. 1976; Bayó y Corominas, 1988).

Otros recursos considerados de bajo coste, están sujetos a una dinámica distinta, se trata de las rocas industriales. Estos materiales utilizados para la fabricación de cementos, áridos, cerámica, etc. A pesar del bajo coste extractivo, su precio final puede encarecerse enormemente por el transporte. Por este motivo, la presión para explotar estos recursos es mayor en el entorno de las ciudades y entra en conflicto con otros usos, residenciales y ocio. Se hace necesario pues, la elaboración de planes de explotación de los yacimientos, con el fin de minimizar los impactos sobre el medio ambiente y permitir la posterior reutilización para otras actividades.

La integración de los estudios del medio físico en la Planificación del Territorio, debería canalizar algunos de los conflictos planteados, ayudaría al objetivo de reducir la pérdida de vidas y bienes por efecto de los riesgos naturales, y racionalizaría el uso y consumo de los recursos existentes, permitiendo con una adecuada planificación,

la explotación más eficiente de los mismos y la adecuada restauración de las áreas afectadas. En definitiva, un mejor conocimiento del medio físico debería proporcionar a los planificadores y administradores la información suficiente para desarrollar un crecimiento más armonioso con el entorno.

## INTEGRACIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE EL MEDIO FÍSICO EN LOS DE PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA Y DEL TERRITORIO

La experiencias en los últimos decenios de inclusión de estudios sobre el medio físico en la planificación integral del territorio, es desigual. En un principio, los estudios aparecen desconectados del resto de documentos de planificación, a modo de anexo y con escasa incidencia en la toma de decisiones. Los objetivos de los estudios del medio físico eran asimismo dispares. En algunas ciudades centroeuropeas, se confeccionaron mapas geotécnicos del subsuelo para prever problemas constructivos (Peter, 1966; Zaruba, 1968; Ghiste, 1970; Sanejouand, 1972). Posteriormente, los objetivos se hacen más globales y la información se amplía al conocimiento, entre otros, de los recursos disponibles y los riesgos naturales, (Robinson y Spieker, 1978; Dearman, 1991). Aunque los parámetros geológicos son solo un elemento más a considerar, su inclusión en este tipo de estudios de planificación contribuye a que las decisiones esten mejor fundamentadas y ofrecen una visión positiva del medio al identificar también las potencialidades del territorio. En proyectos puntuales, las características del medio físico pueden ser determinantes (por ejemplo, la presencia de fenómenos de inestabilidad de laderas puede modificar un trazado viario, terrenos permeables desaconsejar el emplazamiento de un vertedero, o la presencia de un yacimiento mineral propiciar su explotación).

Una de las dificultades principales para la integración de los parámetros relativos del medio físico estriba la percepción de su importancia en la planificación. Por un lado, los planificadores y gestores del territorio no perciben una relación causa-efecto entre las decisiones tomadas y las respuestas o consecuencias en el medio físico. Esto se debe a la escala temporal de los procesos naturales. Por ejemplo, el efecto de impermeabilización de una cuenca en la formación de avenidas, se detectará cuando el área urbanizada sea extensa y coincida con lluvias intensas que, en nuestro entorno climático, tienen una periodicidad decenal. Otra dificultad, como reconocen muchos autores (Peter, 1966; Dearman y Matula, 1976; Lüttig, 1979; Cendrero, 1980), es que los mapas geológicos con-

vencionales son difíciles de entender por los profesionales ajenos a las Ciencias de la Tierra. Es necesario por tanto, producir documentos específicos, mapas temáticos, que sean directamente utilizables por los usuarios.

El análisis del medio físico puede concebirse atendiendo a dos necesidades (Corominas, 1982): (a) estudios de planificación regional en los que se realiza el reconocimiento de un territorio con el fin de descubrir sus potencialidades y limitaciones. El objetivo principal es la estimación de su idoneidad frente a posibles usos (urbano, industrial, agrícola, recreativo, interés cultural, protegido). Existen diversas metodologías para evaluar las potencialidades del medio físico (McHarg, 1969; Urgoiti y Nieto, 1980; Claver, 1991). Se basan en la contraposición de los usos potenciales con las capacidades del medio físico mediante la adecuada ponderación de los parámetros que lo caracterizan. Los riesgos naturales constriñen el crecimiento y deben ser evaluados en términos de coste-beneficio determinandose las medidas de control y alerta (evacuación de áreas), restricciones a la urbanización, normativas de edificación o de refuerzo estructural que sean oportunas (Hays y Shearer, 1981; Berga, 1990; Corominas, 1992). y (b) estudios de impacto en los que el reconocimiento se circunscribe a un sector específico del territorio con el fin de prever su comportamiento ante la realización de un proyecto definido de antemano. Los estudios de impacto persiguen el análisis de las consecuencias de un determinado proyecto sobre el medio natural. Joveniaux (1979), precisa que los estudios de impacto deben contemplar los siguientes apartados: análisis del estado inicial del emplazamiento y de su entorno; evaluación de los efectos que causará la actividad sobre el medio; elección del emplazamiento y justificación frente a otras opciones, y definición de las medidas previstas para eliminar o minimizar los impactos negativos.

¿Qué peso deben tener los parámetros geológicos en la planificación? En general, no proporcionan todos los criterios necesarios para identificar las vocaciones de un territorio. El punto clave a decidir en los estudios de planificación es la resolución de posibles conflictos entre la urbanización, la industria, la agricultura, el ocio y la necesidad de preservación. Cendrero (1980) concluye que los conflictos potenciales deben resolverse de acuerdo con las prioridades establecidas por los planificadores. No obstante, el planificador y la sociedad deben ser conscientes del coste económico, social y ambiental de las decisiones. Es bajo este criterio que surge el concepto de crecimiento sostenible, en el que se recupera la concepción de que la especie humana es parte integrante del ecosistema y depende del mismo.

## ESTUDIO DE UN CASO: EVOLUCIÓN URBANÍSTICA Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL DELTA DEL RÍO BESÒS

El delta del río Besòs, al Norte de la ciudad de Barcelona, junto con el del río Llobregat al Sur de la misma, ha sido el área de expansión natural de la ciudad, constreñida por la sierra de Collserola y el mar. El delta está compuesto por gravas y arenas, con intercalaciones de limos negros orgánicos y arcillas de origen marino. La parte emergida del delta se extiende por el SW hacia el barrio barcelonés de Poble Nou y por el NE hacia Badalona. El nivel de limos orgánicos se acuña tierra adentro, de tal forma que aguas arriba de Santa Coloma de Gramenet ha desaparecido la influencia litoral (figura 2).

El volumen de sedimentos del delta del Besòs ha sido evaluado en unos 400 Hm<sup>3</sup> (CAPO-SGOP, 1966). Desde el punto de vista hidrogeológico, los niveles de gravas y arenas constituyen excelentes acuíferos, capaces de almacenar hasta 80 Hm<sup>3</sup>, por cuyo motivo han sido objeto de explotación para uso industrial y de abasteci-

miento urbano. Aunque el acuífero superficial y profundo deberían mostrar un funcionamiento independiente, en realidad esto es difícil de detectar puesto que las captaciones, totalmente ranuradas, atraviesan ambos acuíferos, permitiendo la mezcla de las aguas y dando un único nivel piezométrico. Esta comunicación ha permitido la contaminación de un acuífero por aguas provenientes del otro (Custodio et al., 1976).

La explotación a gran escala de las aguas subterráneas del delta tiene lugar los últimos decenios ya que hasta principios de siglo, los pozos que atravesaban el acuífero cautivo eran surgentes y existían zonas pantanosas cerca de la línea de costa (figura 2). Las extracciones se concentran inicialmente en la zona de industrias del barrio del Poble Nou en Barcelona. Hasta 1940, los niveles piezométricos mínimos se encontraban a la cota 2 m s.n.m. y no alcanzaron la cota -2m s.n.m. hasta el año 1957, para continuar descendiendo hasta los años 60 y 70. El volumen de aguas extraído alcanzó en 1965 los 63 Hm<sup>3</sup> (CAPO-SGOP, 1966), es decir, valores próximos al 80% del volumen almacenado en el delta. En los años

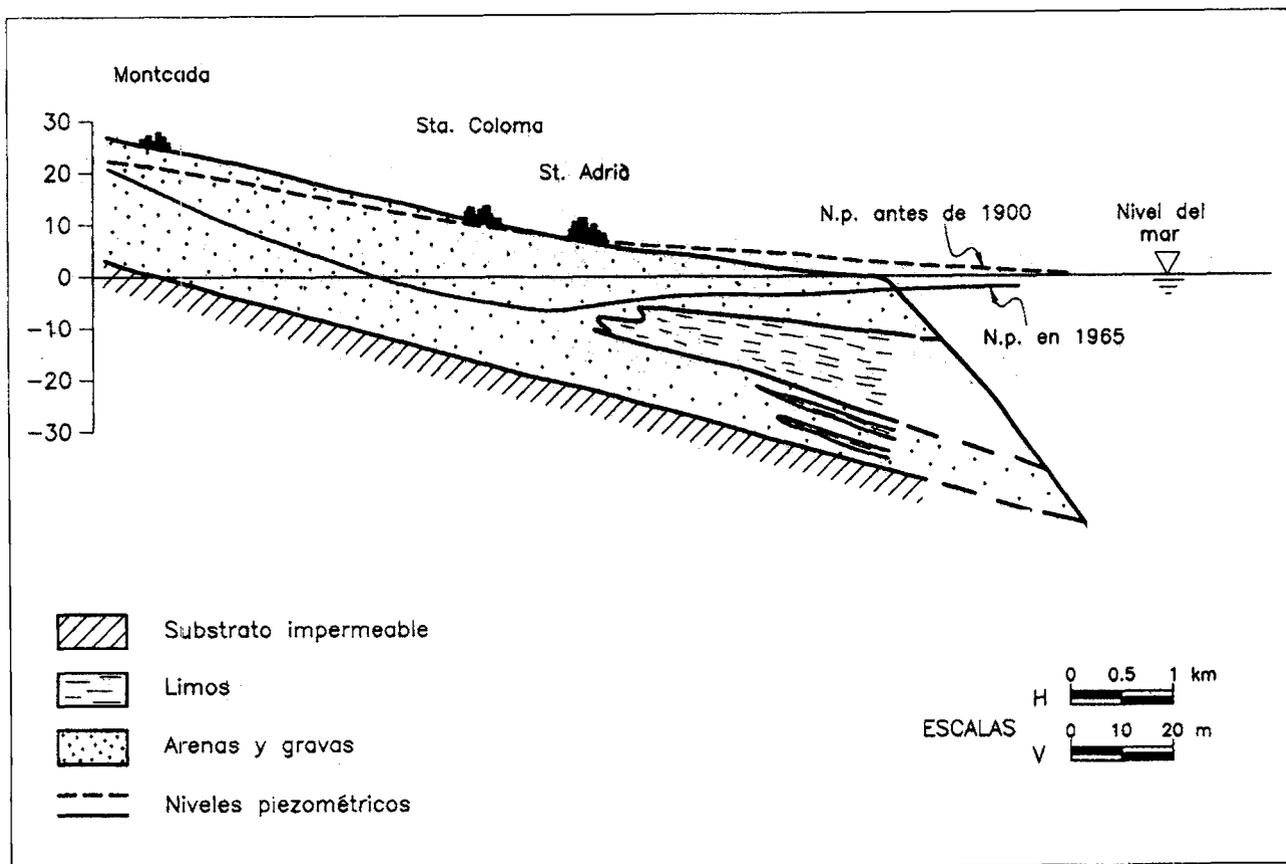


Figura 2.- Perfil geológico del delta del río Besos (CAPO-SGOP, 1966)

posteriores, la situación en el Poble Nou cambia radicalmente y se produce un abandono progresivo de las captaciones por el cierre o traslado de empresas, por contaminación y salinización de las aguas y por cambio en la calificación del suelo, de industrial a residencial. Al mismo tiempo aparecen nuevas captaciones en el centro y borde septentrional del delta. El total de agua extraída en el delta en 1976 y 1983 disminuye a 33 y 20 Hm<sup>3</sup> respectivamente (Gutiérrez y Peixinho, 1983), es decir, a un 52% y 32% respecto 1965.

El traslado de las extracciones se refleja en la piezometría del delta. En la figura 3 se observa como la depresión piezométrica se ha ido desplazando hacia Sant Adrià del Besòs. En efecto, en 1965 la depresión se localizaba en la margen derecha del río Besòs y por debajo del nivel del mar (figura 3b). El mínimo absoluto alcanzó los -7 m s.n.m. y cerca de Sant Adrià existían otros mínimos de -6 m. La situación en 1983 (figura 3c) detecta ya el cese de las explotaciones en la margen derecha del delta. En el Poble Nou la recuperación es manifiesta y se alcanzan cotas por encima el nivel del mar. Por el contrario, se mantienen las extracciones en los pozos de la SGAB (pozo 23, figura 3a), dando lugar a una depresión de -8 m s.n.m. y nuevas extracciones en Badalona, puramente circunstanciales por ser debidas a unas obras. En 1987, desaparecen muchos pozos y piezómetros y la situación cambia otra vez. El mínimo se localiza en Sant Adrià del Besòs, con cotas de -4 y -5.5 m s.n.m., mientras que en el Poble Nou se consolida la recuperación de los niveles.

En el intervalo comprendido entre las máximas extracciones del delta de los años 70 y la recuperación de los niveles a principios de los 80 hubo transformaciones urbanísticas en la zona. La industria abandona el delta y es substituida por edificaciones residenciales. Algunas de las nuevas viviendas construyen aparcamientos subterráneos. Durante el reconocimiento geotécnico y en construcción no se consideró el hecho de que el nivel freático se encontraba artificialmente rebajado por las extracciones en el delta, siendo ésta una situación transitoria. La recuperación de los niveles freáticos conllevó la inundación de los subterráneos (figuras 4 y 5). En algunos casos se solucionó con la ejecución de labores de estanqueidad. En otros, debido al riesgo de rotura por subpresión de las losas de cimentación, se tuvo que recurrir a un bombeo de agua permanente para mantener el nivel freático por debajo el nivel de la solera.

En estas condiciones, la reducción de las extracciones no se correspondió con la mejora de la calidad de

agua en el conjunto del acuífero, afectado por un proceso de intrusión marina. La salinización de las aguas del delta se había iniciado en los años 60 en la zona del Poble Nou (figura 6), en el acuífero superior y en menor medida, en el inferior. Las zonas afectadas por la intrusión salina se han ido desplazando al mismo tiempo que las extracciones. En 1965 las máximas concentraciones aparecen en el barrio del Poble Nou y en el extremo SW del Delta, con conductividades por encima de los 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y máximos de hasta 36.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A su vez, el contenido en cloruros alcanza máximos de 18.800 ppm (figura 6a). En la margen izquierda del delta, los valores de conductividad se mantenían relativamente bajos, 1500 mS/cm en el puente de Sant Adrià sobre el río Besòs y disminuyendo aguas arriba en dirección a Montcada.. En 1965, la penetración de agua salada alcanzaba 1,5 Km hacia el interior del delta. En 1976, la cuña salina se había desplazado hacia el NE y en la parte de Sant Adrià que sita en la margen derecha del río se alcanzaron las 5000 ppm de cloruros. El año 1983 (figura 6c) las aguas del Poble Nou muestran contenidos en cloruros por debajo de las 5000 ppm. En la misma fecha las intensas extracciones de la margen izquierda dan lugar a una extensa intrusión salina que se detecta a 3,5 km de la costa (pozo Montsolís, nº 23, figura 3a). La cuña de intrusión marina, penetró por la margen izquierda del delta a una velocidad media de 150 m/año. En 1987, la situación empeora en Sant Adrià del Besòs, debido al bombeo en un aparcamiento para mantener el nivel freático rebajado. El contenido en cloruros asciende a más de 9.000 ppm (figura 6d), parecidas a las del otro lado del río donde existen asimismo importances extracciones. En definitiva, a pesar de la reducción de un numero importante de industrias y del global de las extracciones, la calidad del agua no ha mejoró en la parte central del delta. Ello afectó directamente los pozos de abastecimiento de la SGAB que tuvieron que ser cerrados por salinización. El caso paradigmático es el pozo Montsolís (nº 23 figuras 3a y 7). En dicho pozo se detecta un inicio de salinización en 1970, pero en 1975-76 alcanzó valores muy preocupantes. A partir de 1979 (figura 7), la SGAB inicia una reducción drástica de sus extracciones que no evita que la salinización continuara aumentando hasta valores extraordinarios (15.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad). Las generosas lluvias de Enero y Febrero de 1982, permitieron una rápida pero efímera mejora de la calidad de las aguas. A pesar de mantener unas extracciones reducidas, una tercera parte de las de los años 70, el año 1983, la conductividad y los cloruros experimentaron un aumento espectacular que obligó al abandono definitivo de la captación. Con ello se han dejado de aprovechar unos 8 Hm<sup>3</sup> anuales de agua para el abastecimiento de la población.

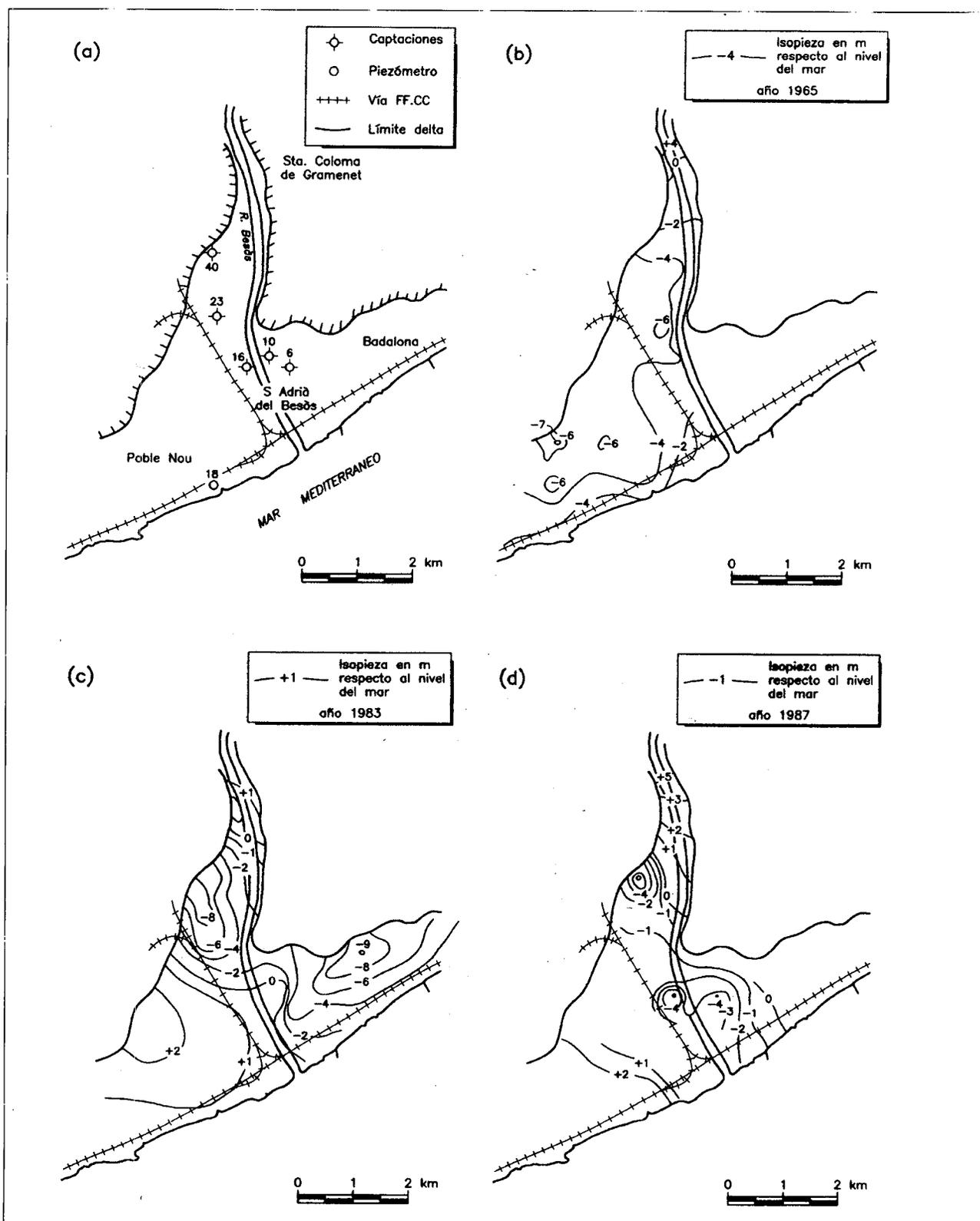


Figura 3.- Evolución de la piezometría del acuífero deltaico del río Besòs. (a) situación de algunos pozos y localidades citados en el texto; (b) piezometría en 1965, según CAPO-SGOP; (c) piezometría en 1983, según Gutiérrez y Peixinho; (d) piezometría en 1987, datos propios.

GRANDES RETOS AMBIENTALES EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO: EL PAPEL DE LOS SISTEMAS NATURALES

La concepción estática del medio físico es probablemente el origen de su gestión conflictiva. El medio físico está formado por sistemas dinámicos, en los que hay que distinguir el substrato, normalmente un conjunto de litologías, y los procesos actuantes en él (flujos de materia y energía). Por ejemplo, un sistema acuífero está constituido por la roca almacén, su substrato, y el flujo de agua subterránea que mantiene mecanismos de intercambio, tanto internos como externos al sistema, resultando en variaciones de temperatura, fenómenos de disolución-precipitación, oscilaciones piezométricas, modificaciones de la porosidad, entre otros. El sistema suele establecer un equilibrio dinámico susceptible de romperse mediante cualquier acción exterior, lo que le hace evolucionar hasta converger en una nueva situación de equilibrio. El caso comentado del delta del Besòs muestra precisamente

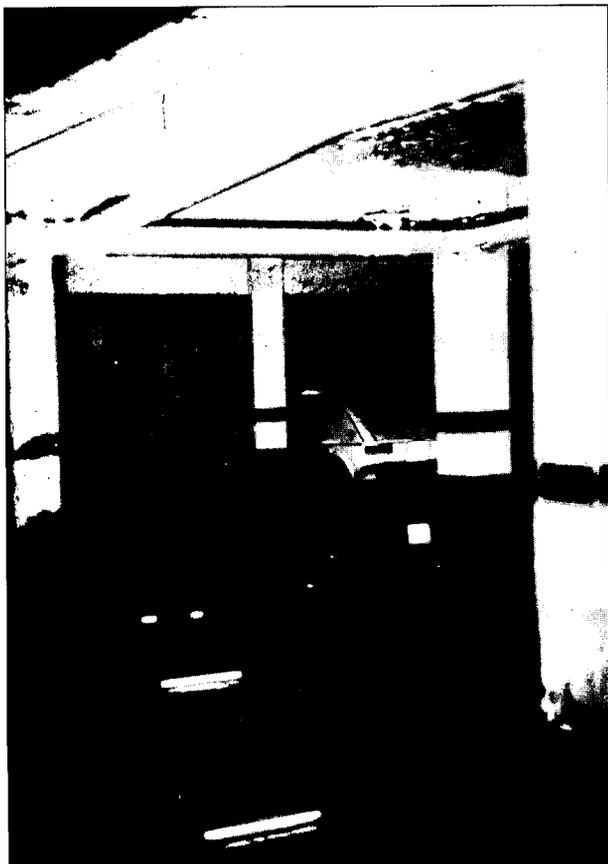


Figura 4.- Aparcamiento subterráneo en la calle Espronceda del barrio del Poble Nou en Barcelona que, como consecuencia del abandono de las captaciones, se inundó por el ascenso del nivel freático. Marzo 1982 (foto Jordi Corominas).

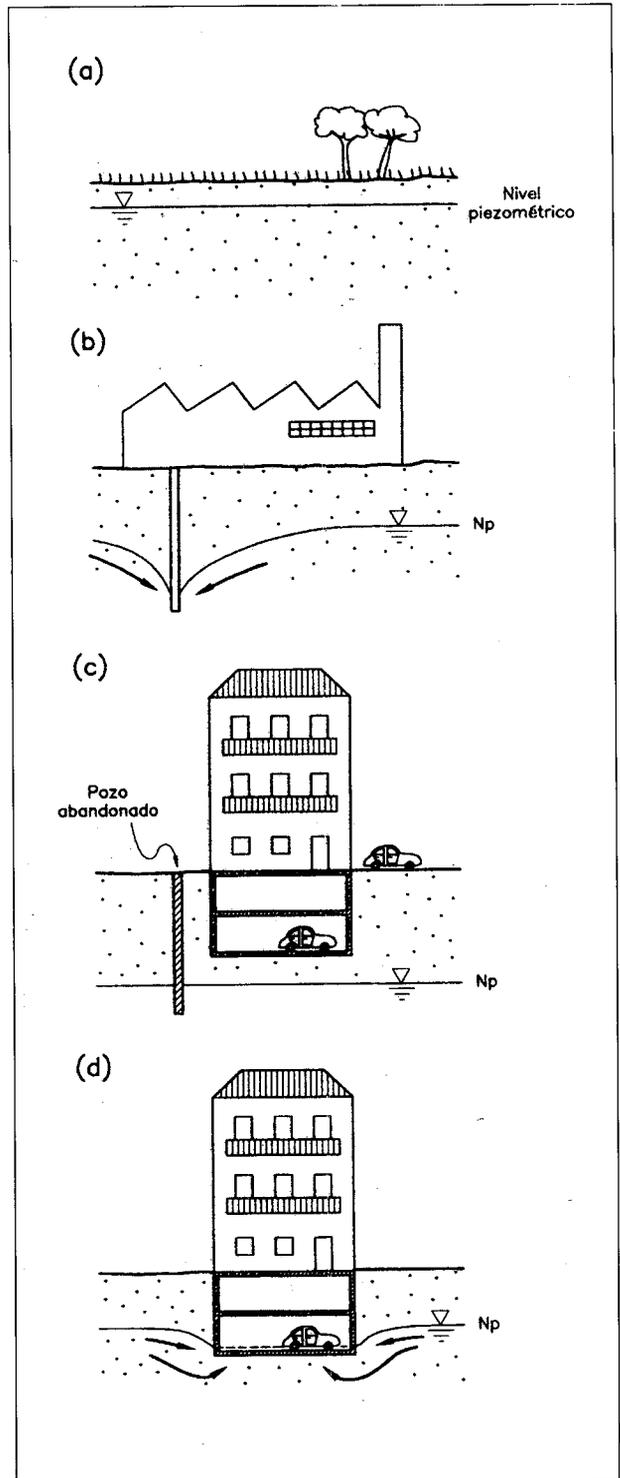


Figura 5.- Esquema evolutivo sintético de la explotación hídrica y cambio de usos del suelo, en el barrio del Poble Nou de Barcelona, en el SW del delta del río Besòs. (a) situación inicial; (b) implantación industrial e inicio de las extracciones, descenso de la piezometría; (c) sustitución de industrias por viviendas, construcción de aparcamientos; (d) ascenso piezométrico e inundación de subterráneos.

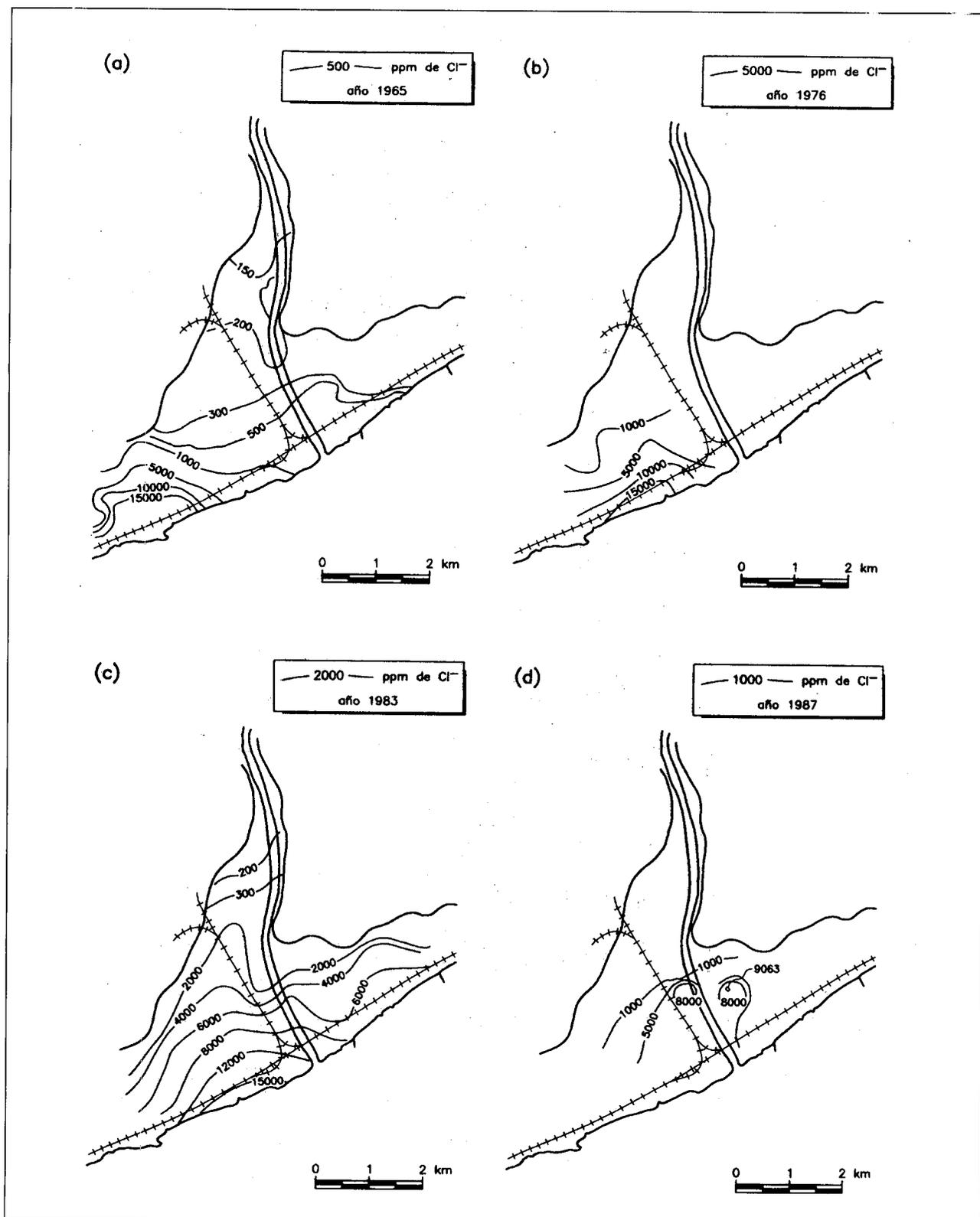


Figura 6.- Evolución del contenido en cloruros de las aguas del acuífero deltaico del río Besòs. (a) situación en 1965, datos de CAPO-SGOP; (b) situación en 1976, datos de Gutiérrez y Peixinho; (c) situación en 1983, datos de Gutiérrez y Peixinho; (d) situación en 1987, datos propios.

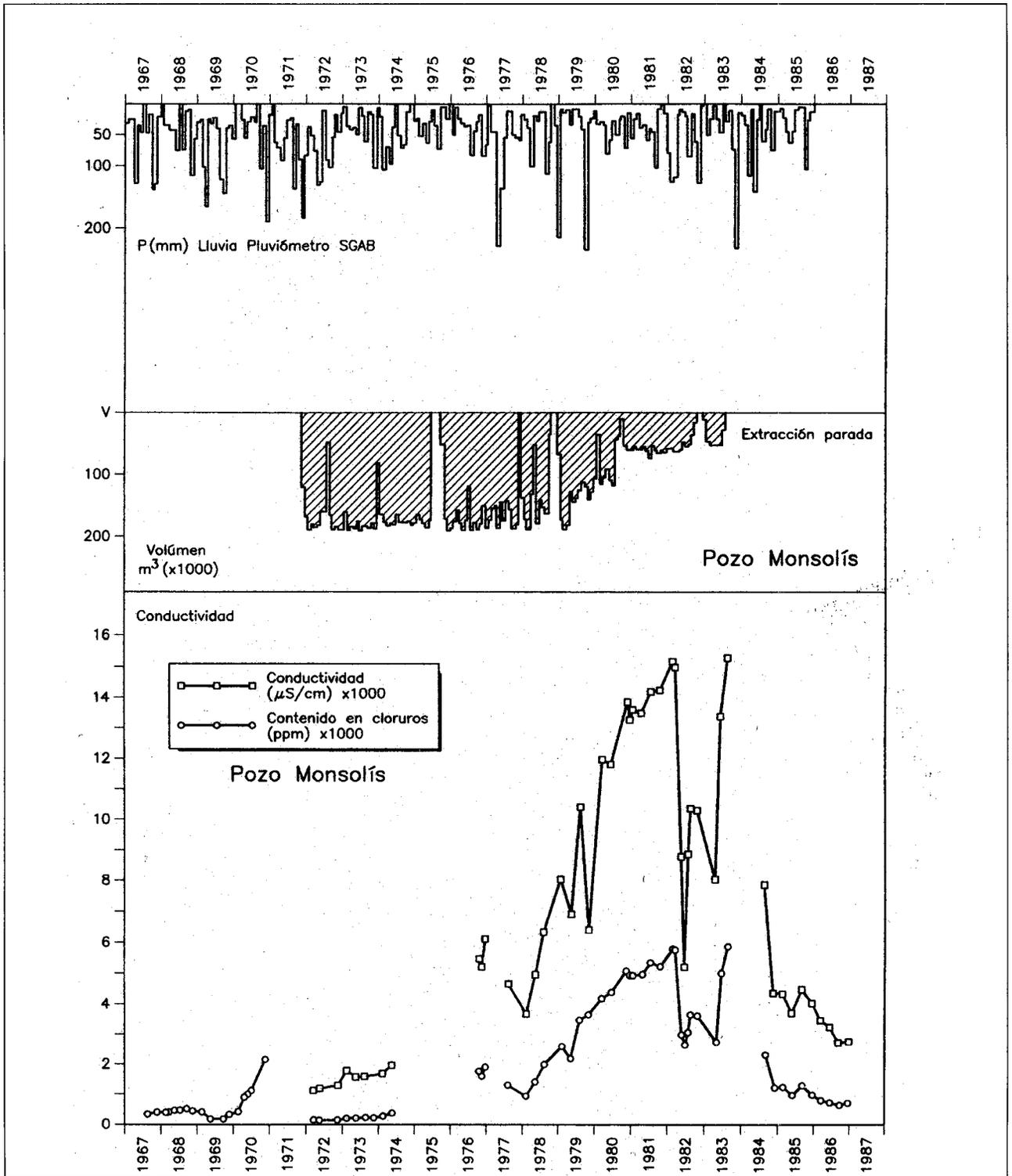


Figura 7.- Evolución del ritmo de extracciones y de la calidad de las aguas del pozo Monsolí, propiedad de la Sociedad General de Aguas de Barcelona (nº 23, figura 3a). Mientras el ritmo de extracción se mantuvo constante, en el entorno de los 200,000 m<sup>3</sup>/mes, a lo largo de la década de los años 70, la presencia de nuevas captaciones en la parte central del delta del río Besòs favoreció el proceso de intrusión de agua marina. La salinidad y el contenido en cloruros experimentó un significativo aumento desde 1976 y que, a pesar de la reducción de los caudales extraídos, obligó al cierre de la captación en 1983.

como el régimen de extracciones origina respuestas en la piezometría y en la salinidad de las aguas.

La intervención en el territorio es de magnitud tal que los impactos han dejado de ser puntuales para afectar al conjunto de la dinámica de los sistemas naturales. En este sentido, la gestión del territorio se enfrenta a importantes retos derivados de la complejidad del funcionamiento de los mismos. Dos ejemplos se presentan para ilustrarlo:

*Gestión de los espacios naturales protegidos.*

Recientemente, ha sido aprobado en Catalunya, el Plan de Espacios de Interés Natural (PEIN). Se trata de una vasta red de espacios que por su valor paisajístico, ecológico y cultural se pretende preservar mediante normativas de protección de diverso rango. La eficacia de la preservación depende tanto de la protección intrínseca de los espacios como de la del sistema al que pertenecen. No es evidente la inclusión en un catálogo garantiza la pervivencia de un "espacio natural" cuando no están considerados los procesos a los que está ligado. Un ejemplo puede encontrarse en el conjunto lacustre de Bastús en la Cuenca de Tremp, alimentado subterráneamente por aguas cuya cantidad y calidad están controladas en áreas de alimentación alejadas de los mismos y por las extracciones. El sistema acuífero lo constituyen las areniscas mastrichtienses, formación que aflora en las sierras del

Montsec y de Sant Corneli (figura 8). En la depresión de Isona-Tremp, dichas areniscas se encuentran confinadas por una potente serie de arcillitas, limolitas y areniscas del Cretácico superior y Paleoceno (facies Garum), dando lugar a un acuífero cautivo cuyo nivel piezométrico se sitúa por encima de la superficie del terreno. Una compleja red de fracturas permite ascender las aguas subterráneas al exterior, alimentando el río Abella y a un conjunto de pequeños estanques surgentes y terrazas travertínicas que son el objeto de protección. Hace pocos años se inició la explotación del acuífero mediante el abastecimiento a la localidad de Tremp y ha generado grandes expectativas para la puesta en marcha de nuevos regadíos. De no mediar un control de los caudales extraídos y medidas de protección ante posibles vertidos en la zona de recarga, no existirá garantía para la preservación de los estanques. Por lo tanto, es necesario la evaluación de los recursos hídricos renovables del sistema y la definición del caudal ecológico necesario para mantener la alimentación de los estanques, parámetros en los que debería basarse el plan de gestión del sistema.

*La gestión de grandes cuencas fluviales: el caso del río Ebro.*

La cuenca del río Ebro muestra la complejidad de un sistema fluvial y como determinadas actuaciones entran en contradicción con otros intereses socioeconómicos y

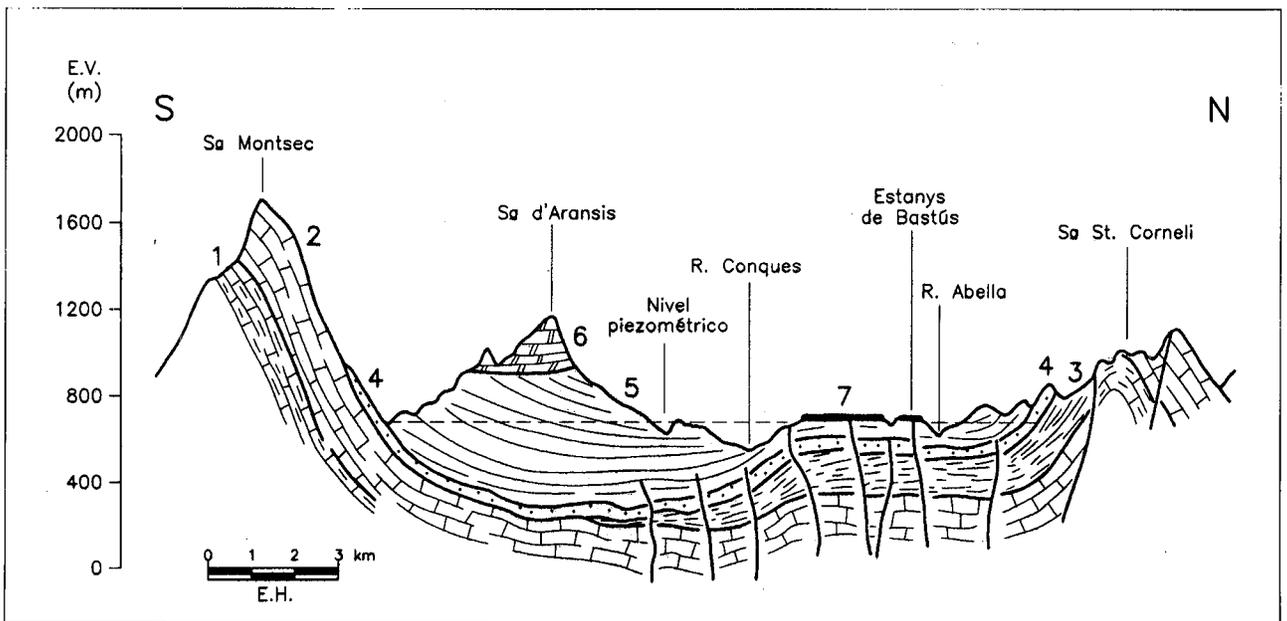


Figura 8.- Perfil geológico de la Sierra del Montsec y la Conca de Tremp. Las areniscas mastrichtienses constituyen el acuífero que alimenta los Estany de Bastús y cuya piezometría se indica en el perfil. 1. margocalizas santonienses; 2. calizas campanienses; 3. margas de Salàs; 4. areniscas mastrichtienses; 5. margas y areniscas (facies Garum); 6. calizas eocenas; 8. terrazas travertínicas recientes (modificado de Pascual 1991).

ambientales. Las actividades económicas desarrolladas en la propia cuenca y las demandas hídricas y de energía generadas dentro y fuera de la misma han sido el motor de las actuaciones en el sistema fluvial. Un completo sistema de saltos hidráulicos en cabecera de los principales afluentes, la construcción de azudes y presas en el curso medio del río han proporcionado energía, han permitido la puesta en regadío de miles de hectáreas y el suministro de agua tanto de poblaciones de la propia cuenca como fuera de ella. Los recursos disponibles gracias a esta regulación eran 7,200 Hm<sup>3</sup> en 1980 pero podrían aumentar hasta los 9,000 Hm<sup>3</sup> con una mayor regulación (Generalitat de Catalunya, 1981). Paralelamente, el conjunto de presas existentes ha conseguido control y laminación de las crecidas fluviales que amenazan las poblaciones que invaden las llanuras aluviales. Son especialmente significativas las cifras en la cuenca del río Segre, a su paso por Lleida, donde a pesar de disponer de una regulación parcial de la cuenca, lluvias de características similares en los temporales de 1907, 1937 y 1982, dieron lugar a caudales de avenida de 5200, 3600 y 3200 m<sup>3</sup>/s respectivamente (Novoa, 1984).

Los beneficios del conjunto de infraestructuras hidráulicas en la cuenca del río Ebro tienen un coste ambiental. Los embalses son una trampa para los sedimentos arrastrados por el río siendo retenidos en la cola de los mismos, cambian además la temperatura de las aguas y en el comportamiento erosivo aguas abajo de la presa; el sistema de canales de riego y el trasvase de aguas para abastecimiento ha reducido el caudal circulante y consecuentemente, la velocidad del agua y su capacidad de transporte. Donde más se deja notar el cambio de la dinámica fluvial es en la desembocadura. Sin perjuicio de las posibles variaciones en el régimen de precipitaciones, la aportación sólida del río Ebro en la desembocadura ha experimentado una drástica reducción (Guillén, 1992): a principios del presente siglo el transporte de fondo era de 400.000 a 2.000.000 Tn/año, antes de 1970 de 40.000 a 200.000 Tn/año y en el periodo 1983-1991 de 2.000 a 15.000 Tn/año, es decir, se trata de una reducción superior al 95 % respecto al de principio de siglo. Paralelamente, la capacidad de transporte del río en condiciones normales también ha cambiado. En la desembocadura del río Ebro, el caudal mínimo necesario para suministrar sedimentos al mar es de 400 m<sup>3</sup>/s. Entre 1988 y 1994 en muy contadas ocasiones este caudal fue superado (Guillén, 1992). El resultado es que desde 1937 hasta la actualidad el Cap de Tortosa, en la desembocadura del río, ha retrocedido 3 km si bien conviene precisar que el balance sedimentario global para el conjunto del cuerpo deltaico todavía no ha sido establecido. En cualquier ca-

so, el Delta del Ebro se encuentra en un proceso de destrucción debido básicamente a (Riba y Serra, 1994): la reducción de aportes sólidos y líquidos, la acción destructiva del oleaje, la subsidencia y la progresiva elevación del nivel del mar.

## COMENTARIOS FINALES

La gestión integral de las grandes sistemas, como la cuenca del río Ebro, plantea importantes contradicciones. Por un lado, lo que se aceptaría como una gestión ambientalmente adecuada en cabecera: la corrección de torrentes y la repoblación forestal, redundan en un menor aporte de carga sólida a los cauces. La construcción de infraestructuras hidráulicas resuelven las necesidades de abastecimiento de ciudades y regadíos, o protegen de las crecidas a las edificaciones que invaden la llanura de inundación, pero todo ello se hace a costa de reducir la capacidad de transporte del río en condiciones ordinarias y de retener en los embalses buena parte de la carga sólida que se dirigía hacia el mar. En la desembocadura, la reducción del aporte sólido hace peligrar la conservación del delta, de quien depende una numerosa población faunística y la economía local. Ante esta situación habría que determinar hasta que punto es posible técnicamente proteger por completo el delta del río Ebro y la viabilidad económica de las medidas a adoptar. Lo que no tiene sentido, como ha ocurrido hasta ahora, es que las decisiones de actuación en cada punto de la cuenca se adopten sin disponer de una visión global de las repercusiones en el conjunto de la misma. Se evitarían así efectos contrapuestos y redundaría en una gestión más eficiente.

La magnitud de las actuaciones en el medio físico hace que los impactos hayan dejado de ser puntuales y con capacidad de regeneración, para convertirse en globales y poniendo en peligro la dinámica de los sistemas naturales. En la medida que los costos de corrección derivados de una mala gestión son muy elevados es necesario prever las alteraciones que un determinado crecimiento causa sobre el medio físico. Para ello se necesita que la planificación del territorio incorpore criterios de gestión de los sistemas naturales basados en el conocimiento de su dinámica. Los casos que se han comentado abren importantes retos, como la determinación del umbral que permite funcionar a un sistema natural sin degradarse irreversiblemente. Hacer frente a estos retos significa superar las limitaciones de conocimiento que todavía tenemos sobre determinados procesos, siendo la única vía para alcanzar el objetivo de desarrollo sostenible.

## BIBLIOGRAFÍA

BAYÓ, A. y COROMINAS, J. 1988. La sobreexplotació d'aqüífers i la intrusió salina. In: R. Folch (Coordinador). *Natura, ús o abús*. 2a Edició. Ed. Barcino. Barcelona: 133-140

BERGA, L. 1990. La problemàtica de las inundaciones. Actuaciones estructurales y no estructurales frente a las avenidas. *Revista de Obras Públicas*. Diciembre 1990: 17-23

CAPO-SGOP. 1966. *Estudio de los recursos hidráulicos totales de las cuencas de los rios Besos y Bajo Llobregat*. Segundo Informe. Tomo 1. Dirección General de Obras Hidráulicas. MOPU. Barcelona. Inédito.

CENDRERO, A. 1980. *Bases doctrinales y metodológicas*. Volumen de Ponencias. 1a Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Santander. pp. 1-62

CENTENO, J.D.; FERNÁNDEZ, P.; GARZÓN, G. y ORTEGA, L.I. 1987. *Espacio externo y espacio interno: Geología y hábitat*. III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Valencia. Vol. 1: 17-36

CLAVER, I. 1991. (coordinador). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología* 3a. Edición. M<sup>o</sup> Obras Públicas y Transportes. Madrid. 572 pp.

COROMINAS, J. 1982. *Els factors geològics com ajuda a la planificació territorial i gestió del medi ambient al Vallès Oriental*. Tesis Doctoral. Inédita. Universitat de Barcelona. 562 pp + anejos + 16 mapas

COROMINAS, J. 1992. *Movimientos de ladera: predicción y medidas preventivas*. 1r Congreso Iberoamericano sobre técnicas aplicadas a la gestión de emergencias para la reducción de los desastres naturales. Valencia. :55-77

CUSTODIO, E.; BATISTA, E. y BAYÓ, A. 1976. Intrusión marina en los acuíferos del litoral catalán. *II Asamblea de Geodesia y Geofísica*. Volumen III: 2103-2129.

DEARMAN, W.R. y MATULA, M. 1976. Environmental aspects of engineering geological mapping. *Bull. Int. Assoc. Engineering Geologists* 14: 141-146

DEARMAN, W. R. 1991. *Engineering geological mapping* Butterworth-Heinemann. Oxford. 387 pp.

ELLIOTT, J. 1980. Lessons from Love Canal. *Journal of the American Medical Association*, 240: 2033-34, 2040.

GENERALITAT DE CATALUNYA. 1981. *Marc per al Pla d'Aigües de Catalunya*. Dpt. de Política Territorial i Obres Públiques. 2 vols. Barcelona. 866 pp.

GHISTE, S. 1970. *La carte d'interpretation géotechnique de la region de Mons (Belgique). Problemes et solutions*. Proceedings 1st International Congress IAFG. Paris: 904-915

GUILLÉN, J. 1992. Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluvial y litoral del delta del Ebro. Tesis Doctoral. C.S.I.C.-U.P.C.-U.B. Barcelona. 580pp.

GUTIÉRREZ, C. y PEIXINHO, F. 1983. *Actualización, evolución y situación de los acuíferos del Delta del Besós*. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. Inédito.

HAYS, W.W. y SHEARER, C.F. 1981. *Suggestions for improving decision making to face geologic and hydrological hazards*. In: W.W. Hays (Editor). Facing geologic and hydrologic hazards. U.S. Geological Survey, Professional Paper 1240-B: 103-108

JOVENIAUX, A. 1979. *L'Étude d'impact. Pourquoi et comment?* Colloque National Connaître le Sous-sol un atout pour l'aménagement urbain. Doc. BRGM, 8 (2): 508-516

LEOPOLD, L.B. 1972. Hydrology for urban land planning. In: G.D. McKenzie and R.O. Utgard (Editors). *Man and his physical environment*. Burgess, Minneapolis. pp.:43-55

LLAMAS, M.R. 1981. Aspectos básicos de la contaminación de las aguas subterráneas. Situación en España. *Jornadas de análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas en España*. Barcelona.

LÜTTIG, G. 1979. Consideraciones sobre la preparación y transformación de los mapas geológicos en documentos directamente utilizables por el proyectista. *Boletín Geológico y Minero* XC-II: 70-77

MCHARG, I. 1969. *Design with nature*. Natural History Press. New York. 198 pp.

NOVOA, M. 1984. Precipitaciones y avenidas extraordinarias en Catalunya. *Jornadas Inestabilidad de Ladera en el Pirineo*. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Barcelona : 1.1.1-1.1.15

PASCUAL, J.M. 1991. *Hidrogeología básica del Pallars Jussà i l'extrem nord-occidental de la Noguera. Estimació preliminar dels recursos hídrulics subterranis*. Inédito. Junta d'Aigües. Lleida.

PETER, A. 1966. Essai de carte géotechnique. *Sol-Soils* 16: 13-27

RIBA, O. y SERRA, J. 1993. El delta de l'Ebre, una àrea geològica amenaçada. *Butlletí de la Societat Catalana d'Història Natural*, 61: 117-133

ROBINSON, G.D. y SPIEKER, A.M. 1978. Nature to be commanded.... *U.S. Geological Survey. Professional Paper* 950: 95 pp.

SANEJOUAND, R. 1972. *La cartographie géotechnique en France*. Ministère de l'Équipement et du Logement. ARMINES, DAFU, LCPC. Paris. 96 pp.

SERVICIO DE ESTUDIOS DEL BANCO DE URQUIJO. 1969. *El agua, recurso natural escaso*. Barcelona. 411 pp.

URGOITI, N. y NIETO, M. 1980. *Modelo metodológico para la ordenación de una comarca rural*. Comunicaciones 1<sup>a</sup> Reunión Nacional Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Santander.

VILARÓ, F. 1977. *La contaminación de las aguas subterráneas*. In: La contaminación de los cauces públicos. Comisión Intercolegial del Medio Ambiente. Ed. Laia. Barcelona. pp.:139-159

ZARUBA, Q. 1968. *The influence of geology on the development of the city of Prague*. Proceedings 23rd, International Geological Congress, Prague. Vol. 12: 133-144