

INTRUSION MARINA EN LOS ACUIFEROS DE LA COSTA CATALANA

Resumen

- 1. Introducción**
- 2. Fuentes de información**
- 3. Comentarios generales sobre la problemática de intrusión marina**
 - 1.- Acuíferos del Cap de Creus**
 - 2.- Acuíferos del Baix Empordà**
 - 3.- Acuíferos del Baix Ter-Montgri**
 - 4.- Acuíferos de la Costa Brava del Sur**
 - 5.- Delta del Tordera**
 - 6.- Maresme**
 - 7.- Delta del Besós**
 - 8.- Llano de Barcelona**
 - 9.- Delta del Llobregat**
 - 10.- Garraf**
 - 11.- Bloque del Gaià**
 - 12.- Bajo Francolí**
 - 13.- Campo de Tarragona**
 - 14.- Macizo del Cardó-Vandellós**
 - 15.- Delta del Ebro**
 - 16.- Montsià**
- 4. Actuaciones técnicas especiales**
- 5. Actuaciones administrativas especiales**
- 6. Estudios de investigación**
- 7. Agradecimientos**
- 8. Referencias**

TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros
Almuñécar (Granada, España). 1988

INTRUSION MARINA EN LOS ACUIFEROS DE LA COSTA CATALANA

Emilio CUSTODIO, Dr. I.I.
Cat. Hidrología Subterránea, Dep. Ing. Terr., ETSICCP.
Dir. del Curso Internacional de Hidrología Subterránea.
Universidad Politécnica de Cataluña.
Jordi Girona Salgado, 31. 08034 - Barcelona.

Resúmen

Desde 1964 se vienen realizando continuados trabajos de estudio de la intrusión marina en los acuíferos de la costa catalana, primero centrados en el entorno de Barcelona, y luego paulatinamente extendidos a toda la costa. Se ha pasado de las fases de reconocimiento a la de observación y control y finalmente a la de creación de instrumentos de gestión y al inicio de estudio de investigación en temas concretos. Se comentan los aspectos principales, sin entrar en detalles, los cuales se pueden encontrar en las referencias, que sin ser exhaustivas, recogen buena parte de los trabajos publicados. La intrusión marina de los acuíferos es un problema grave, con muchas áreas afectadas seriamente. Existen abastecimiento de ciertas áreas costeras cuya salinidad rebasa muy ampliamente los límites tolerables para bebida, riego y uso industriales.

1.- Introducción

Cataluña tiene una buena parte de su población y actividades económicas asentada en la franja litoral. Dadas las peculiaridades geológicas y geográficas del territorio, se configuran acuíferos costeros pequeños y con reducida recarga, lo que ha llevado fácilmente a una seria contaminación salina de muchos de ellos o a problemas de captación de agua dulce donde naturalmente la cuña salina ya es profundamente penetrante o donde existen aguas salinas residuales en formaciones muy recientes.

Si bien existen dos estudios antiguos, uno en el Besós (Moragas, 1896) y otro en el Llobregat (1910) que de algún modo hacen alguna referencia a los problemas costeros, no es hasta 1964 cuando se inician los estudios de detalle en una iniciativa de la oficina de Barcelona del Servicio Geológico de Obras Públicas y la Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental (ambos organismos hoy fundidos en la Junta d'Aigües de la Generalitat de Catalunya) bajo el impulso inicial del Dr. M.R. Llamas.

Los primeros trabajos fueron los relativos a los deltas del Besós (MOP, 1966) -- a la sazón ya fuertemente afectado por intrusión marina -- y del Llobregat (incipientemente afectado), pero con el estudio de los Recursos Hidráulicos del Pirineo Oriental entre (1969 y 1972) (REPO, 1971, 1971) ambos organis-

mos extendieron los estudios a todo el litoral del Pirineo Oriental (desde la frontera francesa hasta el inicio del delta del Ebro), realizando además el Servicio Geológico de Obras Públicas estudios en el resto de la costa, hasta Alcanar.

A consecuencia de estos estudios se ha montado una extensa red piezométrica de observación, en buena parte orientada a la dinámica de los acuíferos costeros, dónde además se han venido realizando controles esporádicos de distribución de salinidad en profundidad.

Como consecuencia de esos trabajos se han ido realizando otros diversos, la mayoría publicados o asequibles en comunicaciones en simposios y congresos, y finalmente en se ha hecho una gran actualización dentro del Plan Hidrológico del Pirineo Oriental (1980-1986), si bien la edición de sus informes ha sido en este caso de carácter interno. Esta actualización ha sido llevado a cabo por la Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental (integrando ya la Comisaria de Aguas y el Servicio Geológico de Obras Públicas) con la colaboración de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Curso Internacional de Hidrología Subterránea.

El objeto del presente trabajo es relacionar los principales trabajos que hacen referencia a intrusión marina sobre acuíferos de la costa catalana, en especial los producidos en relación con las entidades locales. No se trata de una relación exhaustiva, pero si abundante; sólo se relacionan trabajos publicados. Otros muchos sólo han sido objeto de informes internos, que hay que consultar en las oficinas de esas entidades locales.

No se detalla las características básicas de los diferentes acuíferos. Estas deben consultarse en esas publicaciones y en los informes internos.

2.- Fuentes de información

Las fuentes de información sobre intrusión marina en los acuíferos costeros catalanes en forma de informes internos, además de los mencionados en las referencias bibliográficas, son esencialmente los que corresponden a los siguientes organismos:

- Junta d'Aigües (JA), organismo autónomo de la Direcció General d'Obres Hidràuliques de la Generalitat de Catalunya (principalmente en su oficina de Beethoven, Barcelona), que reúne a los antiguos organismos Comisaria de Aguas del Pirineo Oriental (CAPO) y la delegación en Barcelona del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP). A los trabajos del aludido Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales del Pirineo Oriental (REPO, 1971) cabe además añadir los recientes del Plan Hidrológico del Pirineo Oriental (PHPO), en edición muy restringida, que contiene estudios de detalle de varios acuíferos costeros.

El Servicio Geológico de Obras Públicas, en Madrid dispone de copia de todos los informes producidos por la delegación en Barcelona.

- Instituto Geológico y Minero de España, en Madrid, que aunque su actividad en Cataluña ha sido mucho menor que la de los dos anteriores organismos, dispone también de informes propios, principalmente del área de Tarragona y también de Gerona.
- Curso Internacional de Hidrología Subterránea (CIHS), Barcelona, en relación con la Junta d'Agües, la Universidad Politécnica de Cataluña y otros organismos de ámbito estatal y catalán, que a lo largo de 22 años ha ido acumulando trabajos de los postgraduados que han seguido los diferentes cursos, de los cuales más de 1/3 hacen referencia a acuíferos propiamente costeros. Su calidad es variable, así como su contenido, pero en cualquier caso son actualizaciones de interés. Además, los propios profesores han realizado una serie de trabajos específicos como tal curso o en coordinación o por encargo de otros organismos, de los que más del 30% hacen referencia a acuíferos costeros.

Además de los trabajos específicos, se ha realizado o contribuido a estudios y publicaciones de carácter general referentes a la intrusión marina en acuíferos, que contienen abundantes referencias y discusiones sobre problemas de los acuíferos costeros en Cataluña o que se han deducido a partir de los mismos. Tales son Custodio y Llamas (1976, reeditado 1983; Sec. 13), Custodio (1976, 1985); Custodio y Bruggeman (1987). A nivel más general el problema de la modelización se analiza en Custodio (1988).

Diversos trabajos y artículos tratan el problema de la intrusión marina, primero en el Pirineo Oriental, y luego en toda Cataluña, a nivel general (Bayó 1985; Bayó et al. 1987; CIHS, 1982; Custodio, 1979; 1980, 1981, 1983, 1984, 1984, 1985, 1985, 1986; Custodio et al., 1976, 1976, 1977, 1982; Vilaró et al. 1970, 1972).

3.- Comentarios generales sobre la problemática de intrusión marina

De forma sintética y muy resumida, a continuación se comentarán las características más sobresalientes de la intrusión marina en los principales acuíferos catalanes a lo largo de la costa, de norte a sur, cuya situación geográfica se puede encontrar en cualquier mapa de carreteras o geográfico. En cada caso se indica la bibliografía más directa así como otras posibles fuentes de información.

1.- Acuíferos del Cap de Creus

- A.- Poblaciones más importantes: Cadaqués, Roses.
- B.- Naturaleza: granitos y pizarras, con pequeños aluviales costeros.
- C.- Explotación: predominantemente estival, concentrada, para abastecimiento.
- D.- Problemas: salinización por escasa capacidad de los aluviales o penetración marina por fisuras.
- E.- Actuaciones especiales: ninguna.
- F.- Fuentes de información. Muy escasas. CIHS.

2.- Acuíferos del Baix Empordà. Comprende los depósitos costeros asociados a los ríos Muga y Fluvià y entre los mismos.

- A.- Poblaciones más importantes: Sant Pere Pescador, Ampuriabrava, Roses, L'Escala.
- B.- Naturaleza: depósitos fluviales tipo abanico fluvial y depósitos de playa y eólicos, con sedimentos lacustres.
Sistema bicapa no continuo, a veces sólo monocapa.
Área de marisma desde dulce a salada. Aguas saladas naturales residuales en los acuíferos y en los acuitardos. Génesis muy reciente. Efecto importante del aerosol marino a causa del viento.
- C.- Explotación: notable incremento estival para núcleos turísticos y riego. Desplazamiento de la salinidad hacia el interior, en especial hacia las captaciones de Roses y Cadaqués. Efecto de exceso de concentración en las extracciones.
- D.- Problemas: salinidad elevada en pozos de abastecimiento y algunos agrícolas próximos, en especial en la segunda mitad del verano.
- E.- Actuaciones especiales: en ocasiones se han mantenido en explotación algunas captaciones salinizadas para hacer disminuir la salinidad de otros pozos próximos más al interior.
- F.- Fuentes de información. REPO, PHPO. Custodio (1987).

3.- Acuíferos del Baix Ter-Montgrí

- A.- Poblaciones más importantes: L'Estartit, Torroella de Montgrí.
- B.- Naturaleza: depósitos fluviales del Ter-Daró, conectados con los del Baix Empordà por detrás del macizo calcáreo del Montgrí. Sistema aluvial tipo bicapa. Calizas del macizo del Montgrí salinizadas naturalmente.
- C.- Explotación: creciente para abastecer a núcleos de población alejados de la Costa Brava. Sin problemas de salinización importantes por el momento en los aluviales, pero existen en los mismos aguas residuales salobres.

- D.- Problemas: no los hay por ahora, pero la salinización es probable a medio plazo si la extracción aumenta.
- E.- Actuaciones especiales: no hay salvo una notable oposición a la exportación de aguas a otras áreas.
- F.- Fuentes de información: REPO, PHPO, SGOP.

4.- Acuíferos de la Costa Brava Sur

- A.- Poblaciones más importantes: Palafrugell, Palamós, Platja d'Aro-Sta. Cristina d'Aro, Sant Feliu de Guixols, Tossa de Mar, Lloret de Mar.
- B.- Naturaleza: pequeños depósitos fluviales en un conjunto predominantemente granítico. El más importante es el del río Ridaura. Sistemas de tipo de bicapa los mayores, los otros más bien monocapa.
- C.- Explotación: concentrada en verano, aunque con un mínimo importante todo el año para abastecimiento e industria.
- D.- Problemas: muy fácil salinización de los aluviales más pequeños (Tossa, Lloret, Calonge, Aubí) durante el verano, pero relativa buena recuperación durante el invierno. El Ridaura, al mayor de ellos, está mejor protegido y se consigue que al final de la época estival la salinización sea poco marcada, recuperándose almacenamiento durante el resto del año.
- E.- Actuaciones especiales. Sólo las ha habido en el Ridaura, con un aceptable control de las extracciones y captaciones, lo que ha jugado un papel esencial en la protección. Actualmente se restituyen aguas usadas al acuífero por vertidos en el cauce, lo que ayuda a la defensa contra la salinización si bien es un grave riesgo bajo otros puntos de vista.
- F.- Fuentes de información: REPO, SGOP, CIHS. Doménech et al. (1970; 1979); Fayas et al. (1970); Niñerola et al. (1970).

5.- Delta del Tordera

- A.- Poblaciones más importantes: Blanes, Malgrat, Tordera.
- B.- Naturaleza: pequeño delta bicapa, bien formado, con recarga a lo largo del valle.
- C.- Explotación: de abastecimiento con una notable componente estival, e industrial, a menor medida agrícola.
- D.- Problemas: salinización incipiente en los laterales de Blanes y Malgrat. Hasta ahora relativa buena protección natural, si bien es débil en los laterales.
- E.- Actuaciones especiales: no hay.

F.- Fuentes de información: REPO, PHPO, SGOP, CIHS. Custodio (1987).

6.- Maresme

- A.- Poblaciones más importantes: Malgrat, Calafell, Pineda, Canet, Mataró, Vilassar, Premià, Masnou.
- B.- Naturaleza: estrecha franja de depósitos de piedemonte, abanicos aluviales y playas al pie de la cordillera litoral, la cual es de naturaleza granítica. Sistema de acuífero único irregular, que cerca de la costa puede pasar a bicapa.
- C.- Explotación: en la actualidad predominantemente agrícola, aunque en la porción norte también existen abastecimientos con una punta estival. Se utilizó anteriormente para usos urbanos, pero la traída de agua del Canal del Ter dejó inactivos la mayoría de pozos municipales y de sociedades de abastecimiento, excepto en el área de Mataró-Argentona.
- D.- Problemas: salinización irregular, más importante en los núcleos urbanos y pequeño delta de la riera de Argentona. Parece que la estructura bicapa es eficaz para limitar la penetración salina ciertos bombeos de aguas salinas tomadas en la costa hacia el interior crean problemas de salinidad al reinfiltrarse.
- E.- Actuaciones especiales. No hay, salvo las negociaciones incipientes para crear una comunidad de usuarios en el área de la Riera de Argentona.
- F.- Fuentes de información: PHPO, CIHS. Alonso et al. (1982); Corominas et al. (1982); Custodio (1982); Villarroya (1986).

7.- Delta del Besòs

- A.- Poblaciones más importantes: Barcelona, Sant Adrià, Badalona.
- B.- Naturaleza: delta bicapa bien formado, que enlaza con el llano de Barcelona.
- C.- Explotación: fue muy intensa en el pasado, con el máximo entre 1940 y 1965, para usos industriales y también de abastecimiento. Hoy la inmensa mayoría de pozos están abandonados por salinización y contaminación, y traslado de industrias a otras áreas.
- D.- Problemas: salinización muy intensa y penetrante, afectando a los dos niveles acuíferos, los cuales han sido además conectados por captaciones impropiedades construidas, no es corregible. Abandono casi total. Hay afecciones adicionales al acuífero superior por vías de comunicación subterráneas. La recuperación de niveles tras el cese de extracciones ha ocasionado serios problemas en sótanos, estacionamientos subterráneos y edificios.
- E.- Actuaciones especiales: no hay salvo ensayos para estudiar la viabilidad de la recarga artificial en los acuíferos salinizados, utilizando aguas residuales tratadas. Además se realiza recarga artificial

en la parte alta del delta, aunque se ha parado recientemente por falta de agua dulce para inyectar.

- F.- Fuentes de información: REPO, CIHS, MOP (1968); Custodio (1981, 1981, 1981), Custodio et al. (1976), Llamas et al. (1967).

8.- Llano de Barcelona

- A.- Poblaciones más importantes: Barcelona.
B.- Naturaleza: pequeños aluviales cuaternarios, depósitos arenosos-areniscosos, miocenos y pliocenos, y algunos depósitos litorales.
C.- Explotación: en retroceso, pero no nula, para usos de refrigeración e industriales. Muy buena recarga por fugas de la red de abastecimiento.
D.- Problemas: los derivados de la urbanización. Hay pocos problemas conocidos de salinización, salvo en puntos muy próximos a la costa.
E.- Actuaciones especiales: ninguna, salvo el cierre de muchos pozos por contaminación.
F.- Fuentes de información: CIHS.

9.- Delta del Llobregat

- A.- Poblaciones más importantes: Barcelona-Zona Franca, Prat de Llobregat, Viladecans, Gavá, Castelldefels.
B.- Naturaleza: delta reciente, bien formado, bicapa claro, con el acuífero profundo aflorando en el fondo marino entre 4 y 5 km frente a la porción central del delta. El acuitardo intermedio contiene agua salada, que a efectos prácticos es inmóvil.
C.- Explotación: muy intensa y continua, predominantemente para industria, en menor grado para abastecimiento y regadío. Inicio en 1920, con máximo desarrollo a partir de 1960, hasta 1975. Uso intermitente para abastecimiento de emergencia, con caudales punta muy elevados. Recarga preferente a partir de infiltración de aguas fluviales en el valle, en el cauce del río y por excedentes de regadío.
D.- Problemas: respecto al acuífero inferior, salinización elevada en el sector oriental (Zona Franca) iniciada ya en 1965, que ha obligado al cierre de numerosos pozos, en una lengua penetrante por el sector central, ya iniciada en 1965, y otra en el sector occidental que en parte corresponde a aguas de intrusión marina normal en terrenos muy deprimidos topográficamente, o residuales de formación. El acuífero superior no está salinizado más que en los dos extremos oriental y occidental. El abandono de pozos lleva a una recuperación de niveles freáticos que ha producido notables problemas en sótanos, pasos subterráneos o inferiores, estacionamientos subterráneos y edificios. Los pozos cuyo entubado se perfora por corrosión en el acuitardo salino pueden tener cierta contaminación salina después de un periodo de reposo. Una parte de las captaciones

industriales no están afectadas por la intrusión marina. Otras establecidas en zonas de baja salinidad cerca de la costa han sido rápidamente afectadas al utilizar las reservas de agua dulce existentes en áreas de menor transmisividad. El paro de pozos salinizados traslada el problema a otros puntos; también el mantenimiento del funcionamiento de pozos salinizados actúa como protección de otros.

- E.- Actuaciones especiales: se ha creado una Comunidad de Usuarios de Aguas que ha establecido un control de extracciones y nuevas captaciones en el sector más importante del delta y ha conseguido notables ahorros en base al consumo de agua. Para la gestión se han realizado tres modelos matemáticos, uno analógico y dos numéricos digitales, utilizados para tomar ciertas decisiones de gestión. Se están iniciando los trabajos para el estudio de la viabilidad de la recarga artificial costera para reducir la intrusión marina. Además existe una notable tradición de recarga artificial en el valle bajo.
- F.- Fuentes de información: REPO, PHPO, CAPO, SGOP, CIHS. MOP (1966); Custodio (1966, 1967, 1968, 1981, 1982, 1982, 1987); Custodio et al. (1971, 1986, 1986); Llamas et al. (1967); Manzano et al. (1987); Marqués (1975); Marqués da Silva et al. (1988); Peláez (1982, 1983); Vilaró; (1968); Vilaró et al. (1968).

10.- Garraf

- A.- Poblaciones más importantes: Sitjes, Vilanova i La Geltrú, Calafell.
- B.- Naturaleza: calizas y margocalizas fracturadas y karstificadas, con algunas áreas con depósitos detríticos miocenos y cuaternarios. Karstificación por efecto de mezcla agua dulce-agua salada, cuyo efecto desaparece rápidamente hacia el interior. Las zonas más permeables están salinizadas.
- C.- Explotación: zona de gran demanda de agua y escasos recursos. Usos turísticos, industriales y de regadío. Punta estival. Posible recarga por fugas del embalse de Foix. Existencia de manantiales submarinos, el mayor el de la Falconera (500 l/s).
- D.- Problemas: numerosos pozos salinizados, algunos muy seriamente. Contaminación salina que alcanza hasta el límite de aceptable transmisividad tierra adentro; penetra por áreas tectonizadas hasta varios km.
- E.- Actuaciones especiales: ninguna, salvo cerca de dos años de infiltración artificial de las aguas circulantes por la riera de Vilafranca en la depresión de Sitjes-Vilanova, y la continuación de diversos sondeos para captar agua dulce sobre agua salada en Calafell.
- F.- Fuentes de información: CAPO, CIHS, PHPO, SGOP. Custodio (1975), Custodio et al. (1976, 1976, 1986); Pascual et al. (1986, 1987).

11.- Bloque del Gaia

- A.- Poblaciones más importantes: Roda de Berà, Torredembarra, Altafulla.
- B.- Naturaleza: calizas, calcarenitas y magocalizas fracturadas y karstificadas, con depósitos detríticos cerca de la costa. Similar en Garraf.
- C.- Explotación: estacional para suministro a centros turísticos.
- D.- Problemas: numerosos pozos salinizados cerca de la costa, y frecuentes traslados de los centros de abastecimiento hacia el interior del macizo. Escasos recursos locales.
- E.- Actuaciones especiales: ninguna.
- F.- Fuentes de información: SGOP, REPO, IGME, CIHS. CAPO (1980).

12.- Bajo Francolí

- A.- Poblaciones más importantes: Tarragona.
- B.- Naturaleza: pequeños depósitos fluviales conectados a materiales miocenos con niveles de gravas y arenas, y en profundidad de calizas. Recarga por crecidas y aportes del río Francolí.
- C.- Explotación: intensiva para abastecimiento e industria.
- D.- Problemas: salinización importante en los depósitos aluviales, muy variable según la recarga del río Francolí y el estado de explotación; escasas reservas reguladoras. La explotación de niveles profundos carbonáticos miocenos ha llevado a una progresiva salinización claramente avanzando tierra adentro. Los pozos afectados han sido paulatinamente substituidos por otros más al interior, que han seguido igual destino; en el lado occidental, la explotación de un nivel cautivo ha llevado al progresivo reemplazamiento del agua dulce por agua salina.
- E.- Actuaciones especiales: establecimiento de un área de prohibición de nuevas captaciones, muy poco efectiva.
- F.- Fuentes de información: IGME, SGOP, CAPO, CIHS. CAPO (1980); Custodio (1980), Torrens (1976).

13.- Campo de Tarragona

- A.- Poblaciones más importantes: Salou-Vilaseca, Cambrils, Montroig-Miami, Hospitalet de l'Infant.
- B.- Naturaleza: conjunto de abanicos aluviales coalescentes e imbricados, que hacia el sur toman contacto con el mar, y han sido en parte disectados por la abrasión costera. Hacia el norte existen depósitos litorales arenosos y hacia el sur desaparecen para dejar paso a una dominancia de cantos calcáreo-dolomíticos muy permeables, con abundantes caliches.

- C.- Explotación: intensiva industrial cerca de Tarragona, que se ha ido extendiendo hacia el sur en competencia con la agricultura. Desarrollo de demanda turística estival reciente.
- D.- Problemas: salinizaciones frecuentes de origen diverso. En la parte norte por ascenso salino y por el efecto de las calizas del mogote calcáreo de Salou; son frecuentes las aguas salinas en profundidad. En la parte central relativa buena protección por depósitos litorales finos y reducido espesor, aunque aparecen síntomas de salinización. En la parte sur, profunda penetración salina natural, acrecentada por la explotación; muchos pozos salinizados lo son por ascenso salino.
- E.- Actuaciones especiales: ninguna salvo la misma prohibición de nuevos pozos citada para el Bajo Francolí. Sólo afectaba a parte del acuífero y ha sido muy poco efectiva. De mayor efecto ha sido la movilización de numerosos municipios contra el transvase de agua captada de uno a otro. El IRYDA hace estudios de reutilización de aguas residuales usadas por infiltración en el terreno.
- F.- Fuentes de información: CIHS, REPO, IGME, SGOP. CAPO (1980); Custodio (1976, 1980, 1982), Custodio et al. (1971, 1976). Torrens (1976), IGME (1986).

14.- Macizo del Cardó- Vandellós

- A.- Poblaciones más importantes: Hospitalet de l'Infant, L'Ametlla de Mar, Perelló, Ampolla.
- B.- Naturaleza: dolomias y calizas muy fracturadas, de permeabilidad muy variable, que toman directamente contacto con el mar (Cadaloques) directamente o a través de depósitos costeros de tipo abanico aluvial y piedemonte que forman "planas", de materiales calcáreos, a veces con niveles muy permeables, que en parte están directados por la abrasión nomina. Cuenca receptora pequeña.
- C.- Explotación: casi sólo de abastecimiento urbano, con puntas estivales; extacciones inductiales moderadas en Cadaloques-Coll de Balaguer.
- D.- Problemas: cuña de agua marina irregularmente penetrante, a veces muy profundamente. Frecuentes problemas de salinización por conos salinos ascensionales. Notable escasez de recursos.
- E.- Actuaciones especiales: ninguna.
- F.- Fuentes de información: SGOP, CIHS, IGME. Bayó et al. (1986), Bosch et al. (1987), Custodio (1978), Custodio et al. (1976,1986), Pascual et al. (1986).

15.- Delta del Ebro

- A.- Poblaciones más importantes: Aldea, Deltebre, Sant Jaume d'Enveja, Amposta.
- B.- Naturaleza: delta reciente progradante típico, en clara evolución, con crecimiento detenido. Sistema

bicapa claro, enlazado con las terrazas del Ebro. Acuífero superior salino en proceso de lavado por el regadío con canal. Acuífero inferior salino por falta de potencial hidráulico del agua dulce en la zona de recarga para producir la expulsión del agua salada. Existen aportes laterales de los acuíferos terciarios y posiblemente cretácicos.

- C.- Explotación: muy escasa dada la salinidad del agua y el muy extendido suministro con canal. Recientemente se están construyendo pozos profundos de agua salada cerca de la costa para piscifactorías, pero existe el problema de que el agua es reductora y contiene oligoelementos. La explotación en el valle bajo puede crecer notablemente, no teniéndose aún experiencia sobre el efecto del posible desplazamiento de las aguas salinas del delta o en el propio río (sistema de estuario bien estratificado).
- D.- Problemas: los antes aludidos.
- E.- Actuaciones especiales: ninguna.
- F.- Fuentes de información: SGOP, CIHS. Bayó et al. (1976), Custodio (1987), Touris et al. (1983).

16.- Montsià

- A.- Poblaciones más importantes: Sant Carles de la Ràpita, Alcanar.
- B.- Naturaleza: macizo carbonático calcáreo-dolomítico sobre la misma costa, con una estrecha franja de sedimentos detríticos que se engrosan rápidamente mar adentro; forman parte de la estructura petrolífera mar adentro. Se desconoce si al sistema de la depresión de La Galera-Ulldecona descarga a través del Montsià o no.
- C.- Explotación: abastecimiento a las poblaciones locales, con puntas de demanda estival.
- D.- Problemas: fácil salinización de los pozos y en general aguas captadas salobres.
- E.- Actuaciones especiales: ninguna.
- F.- Fuentes de información: SGOP, CIHS.

4.- Actuaciones técnicas especiales

La grave problemática respecto a la intrusión marina, entre otras, surgida en el entorno de Barcelona, y la necesidad de preservar los abastecimientos industriales y municipales existentes, y sobretodo del acuífero como fuente de agua estratégica y de emergencia, ha ido llevando a varias acciones técnicas.

Para mejorar la recarga y mejorar el balance del acuífero costero del delta del Llobregat se vienen realizando acciones de recarga artificial (Custodio 1979, 1986; Custodio et al. 1977, 1979), tanto en pozos (Cornellà, Sant Joan d'Espí) como

por acondicionamiento del lado del río (Pallejà), además de permitirse dotaciones de agua muy elevadas en los campos de cultivo del valle bajo, en el sentido de que los excedentes son a modo de recarga no intencionada por los usuarios, pero muy importante, como se ha calculado con modelos de simulación. En el momento presente se están preparando los elementos para ensayos de recarga de agua dulce en el acuífero profundo del delta cerca de la costa, para estudiar su viabilidad técnica y el efecto sobre la intrusión marina. Si las pruebas son positivas, se procederá a una instalación permanente de recarga, en su caso coordinada con bombeo de agua salada.

La recarga artificial en el delta del Besós (Custodio et al. 1977, 1979) es sólo con fines tratamiento del agua y por tanto no influye en el balance de intrusión marina. Pero en el delta, en 1977-1978, se realizaron pruebas de recarga artificial en el acuífero costero profundo, en un sector fuertemente salinizado, utilizando como agua dulce, agua residual urbana tratada (Custodio et al. 1976, 1981; Custodio, 1981, 1981). Estos ensayos formaban parte de una serie de estudios para recuperar el acuífero y utilizarlo como almacén regulado para agua de uso industrial o para distribución a otras áreas para regadío. El proyecto no se ha llevado a cabo, pero se ha recogido la experiencia para futuros planes.

Otras experiencias se han realizado entre Sitjes y Sant Pere de Ribes, inicialmente con otro objetivo (Custodio, 1976, 1977), resultando en una notable disminución de la salinidad en el acuífero costero durante los casi dos años de funcionamiento de la infiltración en balsas en el cauce de la Riera de Vilafranca, si bien la muy mala calidad del agua circulante creaba otros problemas.

Los trabajos de aprovechamiento por recarga artificial de las aguas usadas tratadas de la depuradora de Reus, en el Campo de Tarragona, preconizadas por el IRYDA, son aún muy incipientes.

En el cauce del río Ridaura se han venido infiltrando, por simple vertido al mismo, las aguas residuales depuradas del conjunto Platja d'Aro, Santa Cristina d'Aro, produciéndose una notable mejora en el balance del acuífero costero, pero con los consiguientes obvios problemas de un muy corto tiempo de permanencia del agua en el acuífero y progresiva colmatación del lecho del río.

Como elementos adicionales de gestión se ha puesto énfasis en la modelización de varios acuíferos (Ridaura, Tordera, Reus) pero el real desarrollo ha sido en el delta del Llobregat (Cacho et al., 1976, 1977; Cuenca et al., 1971; Custodio, 1982; Custodio et al., 1971, 1976, 1977; Medina et al., 1987, PHPO, 1985, Vilaró et al., 1973), donde se han usado como instrumentos de gestión y de decisión por parte de la Administración y los usuarios. Actualmente la modelización forma una parte esencial de la previsión del comportamiento del acuífero frente a la recarga artificial costera. En estos momentos se trabaja

en un modelo de transferencia de masa para el seguimiento de la evolución de la salinidad.

5.- Actuaciones administrativas especiales

Las medidas administrativas adoptadas para la prevención y control de la intrusión marina en acuíferos costeros en Cataluña han sido varias y de muy diferente efectividad. Como consecuencia del Estudio de los Recursos Hidráulicos del Pirineo Oriental (REPO,1971) se preparó una normativa de Planificación, que al no poder ser encajada (por motivos a veces de competencias en la Ley de Aguas entonces vigente, no se llevó a efecto; contenía previsiones respecto a la intrusión marina.

En el campo de Tarragona, el Ministerio de Industria estableció un perímetro en el que no se concedían nuevas captaciones y las existentes quedaban sometidas a control, pero la efectividad de la prohibición ha sido pequeña por falta de fuerza legal suficiente y por su escasa popularidad. También en el delta del Llobregat y valle bajo, el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo extendió la zona de policía de aguas públicas a todo el territorio del aluvial, lo que exigía una solicitud de autorización para cualquier nuevo pozo o extracción, y la regularización de los existentes. Tampoco la medida tuvo clara efectividad por falta de fuerza par hacerla efectiva, enfrentamientos de competencias administrativas y, en el fondo, falta de interés en hacerla efectiva. No obstante fue el germen que permitió la creación de la Comunidad de Usuarios de Agua del Sector Oriental del Delta del Rio Llobregat (Ferret, 1981, 1984).

Esta comunidad ha sido muy efectiva para controlar nuevas extracciones, mejorar las existentes y conseguir una muy clara reducción de las demandas, propiciando medidas serias de ahorro de agua. Parece un modelo a seguir en otras áreas costeras, y de hecho existen ya varios intentos, nacidos de los propios usuarios o como consecuencia de actuaciones especiales de la Administración. Esta Administración Hidráulica de la Generalitat de Cataluña prefiere seguir esta línea que la de declaración de zona sobreexplotada o con riesgo de salinización, dentro de la actual Ley de Aguas, ya que ello traslada a la Administración un conjunto de cargas que no puede asumir con afectividad actualmente, y sí los propios usuarios, evitando así repetir los fracasos de antaño.

6.- Estudios de investigación

La resolución de los problemas planteados va requiriendo cada vez estudios de más detalle y la resolución de aspectos básicos de los acuíferos costeros. En este sentido, la actividad en relación con la Universidad Politécnica de

Cataluña y el Curso Internacional de Hidrología Subterránea trata de resolver algunos de éstos problemas.

Los aspectos geoquímicos y de isótopos ambientales fueron iniciados en la tesis doctoral del autor de éste trabajo y se han aplicado regularmente, habiéndose extendido actualmente al detalle de la evolución de los acuíferos carbonáticos (Pascual et al., 1986, 1987) y de la permeabilidad de los medios aluviales. Los estudios isotópicos ambientales se han abordado continuamente en los diferentes trabajos. En los aspectos propiamente químicos se pone especial atención a los fenómenos de intercambio iónico y de equilibrio químico de fases sólidas con los solutos del agua.

Por otro lado, los aspectos de características de la propia zona de mezcla son objeto de consideración de detalle (Custodio et al. 1988), así como de la existencia y posible movimiento de aguas salinas residuales contenidas en los acuíferos de las formaciones aluviales costeras recientes, como una tesis doctoral ya leída (Peláez, 1983), otra en estado avanzado, y diversos otros estudios (Batista et al. 1983; Manzano et al., 1987).

En cuanto a la modelización, además del empleo de códigos existentes se trabaja en mejoras en cuanto a la transferencia de masa, con incorporación de técnicas de calibración automática apartir de información previa (Medina et al. 1987). También se ha iniciado la aplicación de técnicas de mejora de redes de observación (Custodio et al. 1988).

Esos trabajos se realizaron dentro de diferentes convenios y acuerdos de investigación, entre los que cabe destacar los establecidos con el Comité Conjunto Hispano Norteamericano para la Ciencia y la Tecnología.

7.- Agradecimientos

El Curso Internacional de Hidrología Subterránea ha aportado los servicios necesarios para la realización del presente trabajo. Asimismo, parte de esos servicios y parte de los trabajos de investigación se apoyan en el convenio CCA 8309/007 del Comité Conjunto Hispano Norteamericano para la Ciencia y la Tecnología. Se agradece vivamente la eficaz colaboración del U.S. Geological Survey y de la Junta d'Aigües, en especial la de Alfons Bayó y Andreu Galofré.

8.- Referencias

- Alonso, A., Mediavilla, C., 1982. Estudio sobre la contaminación agrícola y marina del acuífero costero entre Masnou y Premià. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona, pp. 131-136.
- Batista, E., Bayó, A., Custodio, E., Doménech, J., 1983. Some aspects of sea water intrusion in Catalonia (Spain). 8th Salt Water Intrusion Meeting, SWIM-Bari. Instituto di Geologia Applicata e Geotecnica. Bari. Vol. XVIII, part. 1. pp. 299-323.
- Bayó, A., 1985. Les aigües, recurs geològic. Història Natural dels Països Catalans. Vol. 3. La Gran Enciclopedia Catalana. Barcelona.
- Bayó, A., Berga, L., Fayas, J., 1976. Avance al conocimiento de la hidrogeología de la comarca del "Baix Ebre" (valle inferior y delta del río Ebro). I Simposio Nacional de Hidrogeología. Valencia. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. 1, pp. 73-88
- Bayó, A., Doménech, J., Custodio, E., 1976. Estudio geológico del macizo de Vandellós para definir sus características hidrogeológicas. Actas del Simposio Nacional de Hidrogeología. Valencia, 1976. pp. 89-107.
- Bayó, A., Custodio, E., 1987. Acuífero en deltas y costas lineales en Cataluña. Tecnología del Agua. Barcelona, Vol. 32 pp. 102-112.
- Bosch, X., Custodio, E., 1987. Interpretación de datos de isótopos ambientales estables (D y $O-18$) de muestras de aguas subterráneas del acuífero carbonatado costero del macizo de Vandellós en la zona del Coll de Balaguer, T.M. de Vandellós (Tarragona). II Jornadas de Geoquímica. Colegio de Geólogos de España, 1987. pp. 67-70.
- Cacho, F., García, J.L., 1976. Modelación de los acuíferos de la Zona Franca del delta del Llobregat con vistas al estudio de la progresión salina. Simposio Nacional de Hidrología. Valencia. Vol. II. pp. 1200-1224.
- Cacho, F., Custodio, E., García, J.L., 1977. Modeling the aquifers of the Llobregat delta (Barcelona, Spain). Int. Assoc. Hydrogeologists. General Assembly of Birmingham. Vol. XIII - 1. pp. E 12-24.
- Candela, L., Olea, R.A., Custodio, E., 1988. Lognormal kriging for the assessment of reliability in groundwater quality control observation networks. Enviado a Journal of Hidrology. (en prensa).

- CAPO, 1980. Estudio de los recursos hídricos del Bajo Franco-
11. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental. Barcelona.
400 pp.
- CIHS, 1982. Jornadas sobre análisis y evolución de la contami-
nación de las aguas subterráneas en España. Curso
Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. 2
vols 1100 pp.
- Corominas-Blanch, J., Custodio, E., 1982. Contaminación por
nitratos e intrusión marina en el acuífero costero del
Maresme (Barcelona). Jornadas sobre análisis y Evolución
de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en España.
Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona,
Vol. I, pp. 537-551.
- Cuena, J., Custodio, E., 1971. Construction and adjustment of
a two-layer mathematical model of the Llobregat delta.
Mathematical Models in Hydrology. Proceedings of the
Warsaw Symposium, IASH-UNESCO-WMO. Vol. 2 (published
1974). pp. 950-964.
- Custodio, E., 1966. Calidad química de las aguas subterráneas
del delta del río Llobregat. Documentos de Investigación
Hidrológica nº 2 y 3. Coloquio de Barcelona, 1966.
Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua.
Vol. 2 y 3, pp. 129-138 + 17 mapas. Barcelona, 1967.
- Custodio, E., 1967. Etudes hydrogéochimiques dans le delta du
Llobregat, Barcelona (Espagne). General Assembly of Barn.
Int. Assoc. Scientific Hydrology. Pub. 62. pp. 135-155.
- Custodio, E., 1968. Datación de aguas en el delta del río
Llobregat. Documentos de Investigación Hidrológica nº 6.
Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del
Agua. Barcelona. pp. 205-237.
- Custodio, E., 1975. Metodología y resultados del estudio
hidrogeológico del macizo kárstico de Garraf, Barcelona.
Boletín Geológico y Minero. Enero- Febrero, 1975. Vol.
76-1. pp 31-44. Madrid.
- Custodio, E., 1976. Estudio de la salinización de las aguas
subterráneas en la región litoral entre Ametlla de Mar y
Montroig (Tarragona). Actas del Simposio Nacional de
Hidrogeología. Valencia, 1976. pp. 984-1006.
- Custodio, E., 1976. Relaciones agua dulce-agua salada en las
regiones costeras. Hidrología Subterránea. Ed. E.
Custodio and M.R. Llamas. Ediciones Omega. Barcelo-
na. Vol. 11, Section 13, pp. 1313-1389.

- Custodio, E., 1978. Ensayos para determinar la viabilidad de una excavación profunda en el litoral del Macizo de Vandellòs (Tarragona, España). Simposio sobre el Agua en la Minería y Obras Subterráneas. Granada, 1978. Asoc. Nac. Ing. Minas y Cons. Sup. Colegios Ing. Minas. pp. 85-109.
- Custodio, E., 1979. Groundwater conditions in the catalonian coastal aquifers. Selected Water Problems in Islands and Coastal Areas with Special regard to Desalination and Groundwater. United Nations. Pergamon Press. pp. 219-228.
- Custodio, E., 1979. Artificial recharge in the coastal aquifers near Barcelona (Spain). Selected Water Problems in Islands and Coastal Areas with special regard to Desalination and Groundwater. United Nations. Pergamon Press. pp.465-472.
- Custodio, E., 1980. Aspectos químicos e isotópicos del comportamiento de las aguas subterráneas en la cuenca del río Francolí (Tarragona, España). IV Coloquio Internacional sobre las Aguas Subterráneas. Acireale, Sicilia 1980. pp. B98-B134.
- Custodio, E., 1980. Perspectivas de las aguas subterráneas en el Pirineo Oriental (Cataluña, España), de cara al Siglo XX: urgencia en la actuación o degradación irreversible. Quaderns d'Enginyeria, Vol. 3, nº 1, 1981. ETSII-Barcelona. pp. 93-113.
- Custodio, E., 1980. Els recursos hidràulics a les comarques meridionals de Catalunya. Jornades Agràries de les Comarques Meridionals. Obra Agrícola de "La Caixa". Expo-Reus 80. Ponències Tècniques. pp 77-97.
- Custodio, E., 1981. Sea water encroachment in the Llobregat and Besòs areas, near Barcelona (Catalonia, Spain). Intruded and Relict Ground-Water of Marine Origin. Proc. 7th Salt Water Intrusion Meeting SWIN-81. Uppsala. Sveriges Geologiska Undersökning, sep. 27. pp. 120-152.
- Custodio, E., 1981. Evaluación y causas de la contaminación de agua marina en los acuíferos de la costa peninsular y en las áreas insulares. Actas de las Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. Vol. 1, pp. 447-503.
- Custodio, E., Estudio de la recarga artificial con aguas residuales tratadas en el acuífero cautivo del delta del Besòs, mediante las curvas características del pozo. IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Zaragoza. Instituto Geográfico Nacional. Madrid. Vol III. pp. 1625-1642.

- Custodio, E., 1981. Método de cálculo de las mezclas de agua resultantes de la recarga artificial con aguas residuales tratadas en el acuífero cautivo del delta del Besòs. IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Zaragoza. Instituto Geográfico Nacional. Vol III. pp. 625-642.
- Custodio, E., 1982. Nitrate buildup in Catalonia coastal aquifers. Int. Symp. Impact of Agricultural Activities on Groundwater. Praga. Int. Assoc. Hydrogeologists, Mémoires, Vol. XVII part 1. pp. 171-181.
- Custodio, E., 1982. Utilisation des réserves d'eau souterraine en Catalogne et aux îles Canaries. 4^{ème} Conférence Internationale sur la Planification et la Gestion des Eaux. Marseille. CEMPE. Vol. 1 pp. 693-700.
- Custodio, E., 1982. Models of the aquifers in the Llobregat Delta (Catalonia, Spain). Groundwater Models. Vol I. Concepts, Problems and Methods of Analysis with Examples of their Application. Studies and Reports in Hydrology n° 34. UNESCO. pp. 39-51.
- Custodio, E., 1983. El uso conjunto en el Pirineo Oriental: problemas de calidad. Curso sobre Utilización Conjunta de Aguas Superficiales y Subterráneas. DGOH-SGOP/ETSICCP-UPV, Valencia-Castellón de la Plana. E-8, pp. 1-21.
- Custodio, E., 1984. Los estudios hidrológicos del Pirineo Oriental. Seminario del Agua en Aragón. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. Vol. 8. pp. 828-851.
- Custodio, E., 1984. Salinización de acuíferos por sobreexplotación. Mediterrània. Butlletí per a la protecció de la Mediterrània n° 4 (Gener 1984). Barcelona. pp. 12-19. Trad. Francés. págs. 37-40. Trad. inglés págs. 51-54.
- Custodio, E., 1985. Recàrrega, utilització i gestió d'aquífers. Jornades Tècniques sobre la Reutilització de les Aigües Urbanes. Consorci de la Costa Brava. Castell-Platja d'Aro (Girona), 1985. pp. 7-32.
- Custodio, E., 1985. Saline intrusion. Hydrogeology in the Service of Man. Mémoires 18th Congress Int. Assoc. Hydrogeologists. 1985. (Cambridge, UK). Invited papers. Part 1. pp. 65-90.
- Custodio, E., 1986. Recarga artificial: situación y realizaciones. Boletín del Servicio Geológico de Obras Públicas n° 45. Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 245 pp.
- Custodio, E., 1987. Peculiaridades de la hidrología en los complejos palustres españoles. Bases Científicas para la Protección de los Humedales en España. Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales. Madrid, 1987. pp. 45-63.

- Custodio, E., 1988. Processes in the mixing zone in carbonate formations: Central and Southern Catalonia. 10th Salt Water Intrusion Meeting (SWIM), Ghent (en prensa).
- Custodio, E., 1988. Present state of coastal aquifer modeling: short review Groundwater Flow and Quality Modeling. Ed. E. Custodio, A. Gurgui y J. P. Lobo-Ferreira. NATO ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences. Vol. 224. Reidel Pub. Co. Dordrecht. pp. 785-801.
- Custodio, E., Bayó, A., Orti, A., 1971. Características geológicas, hidrogeológicas y geoquímicas de los acuíferos costeros entre Cambrils y L'Ametlla de Mar (Tarragona). 1^{er} Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Sección 3, Tomo 1. pp. 147-170. Madrid-Lisboa, 1971.
- Custodio, E., Bayó, A., Peláez, M.D., 1971. Geoquímica y datación de aguas para el estudio del movimiento de las aguas subterráneas en el delta del Llobregat (Barcelona). Primer Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Sección 6, Madrid. pp. 51-80.
- Custodio, E., Cuena, J., Bayó, A., 1971. Planteamiento, ejecución y utilización de un modelo matemático de dos capas para los acuíferos del delta del Llobregat (Barcelona). Primer Simposio Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Madrid. Vol. III. Paper E.3-17. pp. 171-198.
- Custodio, E., Cacho, F., Peláez, M.D., García, J.L., 1976. Problemática de la intrusión marina en los acuíferos del Delta del Llobregat. II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona. Instituto Geológico y Catastral. Madrid. pp. 2103-2129.
- Custodio, E., Galofré, A., Gené, J., 1976. Recarga de aguas residuales municipales en el llano de Sitges. II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona. Instituto Geográfico y Catastral. pp. 1893-1936.
- Custodio, E., Suárez, M., Galofré, A., 1976. Evolución de la calidad del agua en la surgencia litoral de La Falconera en relación con un gran vertedero de basuras en el macizo de Garraf (Barcelona). II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona, 1976. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid. pp. 2131-2133.
- Custodio, E., Llamas, M.R., (Ed.), 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega. Barcelona. 2 Vols. 2350 pp.
- Custodio, E., Bayó, A., Batista, E., 1977. Sea water encroachment in Catalonia coastal aquifers. Intern. Assoc. Hydrogeologists. Birmingham, 1977. Vol. XIII-1, pp. F 1-14.

- Custodio, E., Cacho, F., Suarez, M., Isamat, F.J., Miralles, J.M., 1977. Combined use of surface and groundwater in Barcelona Metropolitan Area (Spain). Intern. Assoc. Hydrogeologists. Birmingham, 1977. Vol XIII, 1. pp. C14-27.
- Custodio, E., Isamat, F.J., Miralles, J.M., 1977. Twenty five years of groundwater recharge in Barcelona (Spain). International Symposium on Groundwater Recharge. Dortmund. Deutscher Verband fuer wasserwirtschaft un kulturbau e.V. DVWK-UNESCO. DVWK Bulletin 11. Artificial Groundwater Recharge. Vol. 1 pp. 171-192.
- Custodio, E., Galofré, A., 1977. Basin recharge in the Sitges Plain (Barcelona, Spain) to eliminate temporary municipal waste water. Inter. Assoc. Hydrogeologists. Birmingham, 1977. Mémoires, Vol. XIII-1. pp. F 41-57.
- Custodio, E., Cacho, F., García, J.L., 1977. Modelling the aquifers of the Llobregat delta (Barcelona, Spain). General Assembly Intern. Assoc. Hydrogeologists. Birmingham, 1977. Vol. XIII-1. pp. E 12-24.
- Custodio, E., Touris, R., Balagué, S., 1981. Behaviour of contaminants after injection of treated urban waste water in a well. Int. Symp. Quality of Groundwater ISQG'81. Noordwijkerhout. (Amsterdam). Studies in Environmental Sciences. Vol. 17, Elsevier. pp. 395-401.
- Custodio, E., Ganoulis, J., Potié, L., 1982. Utilisation rationnelle des ressources en eau dans les zones cotières. ^{4^{ème}} Conference internationale sur la Planification et la Gestion des Eaux. Marseille. CEMPE. Rapport Général Thème 7. Pub. Bull. BRGM (2). 111 n° 3/4. Orléans. pp. 230-242.
- Custodio, E., Bayó, A., 1986. Interactions between land-use and aquifer behaviour in the surroundings of Barcelona (Spain). Symp. on Integrated Land Use Planning and Groundwater Protection Management in Rural Areas. Mém. Int. Assoc. Hydrogeologists. n° 90-97. Conjuntamente con A. Bayó.
- Custodio, E., Pascual, M., Bosch, X., Bayó, A., 1980. Sea water intrusion in coastal carbonate formations in Catalonia, Spain. 9th Salt Water Intrusion Meeting. Delft University of Technology, 1986. pp. 147-164.
- Custodio, E., Iribar, V., Manzano, M., Bayó, A., Galofré, A., 1980. Evolution of sea water intrusion in the Llobregat delta (Barcelona, Spain). Delft University of Technology, 1986. pp. 133-146.
- Custodio, E., Bruggeman, G., et al., 1987. Salt water problems: groundwater. UNESCO. Studies and Reports in Hydrology Series. Paris, n° 45. pp. 595.

- Doménech, J., Llamas, M.R., 1970. Estudio de los recursos y reservas hidráulicas totales de la cuenca del río Ridaura para el abastecimiento de una importante zona turística de la Costa Brava (Gerona). Documentos de Investigación Hidrológica. Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua. Barcelona. pp. 133-153.
- Doménech, J., Batista, E., Fayas, J.A., 1979. Evolución y problemática de la explotación del embalse subterráneo del Ridaura (Gerona). II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. IV, pp. 21-40.
- Fayas, J.A., Niñerola, S., 1970. Necesidades de adoptar medidas para la defensa de un acuífero aluvial frente a la polución de sus aguas y para mejorar la recarga: riera de Aubí (provincia de Gerona). Documentos de Investigación Hidrológica nº 8. Coloquio de Sevilla. Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua. Barcelona. pp. 63-80.
- Ferret, J., 1981. Actuación del Ayuntamiento del Prat de Llobregat en la protección de los acuíferos del delta del Llobregat. Jornadas sobre Análisis y Evolución de Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. Vol. II, pp. 863-368.
- Ferret, J., 1984. L'aprofitament de les aigües subterrànies del delta del Llobregat, 1933-1983. Comunitat d'Usuaris d'Aigües de l'Àrea Oriental del Riu Llobregat. Prat de Llobregat. 158pp.
- IGME, 1986. Estudio de los recursos hídricos subterráneos del sistema hidrogeológico 74, Campo de Tarragona. Instituto Geológico y Minero de España. Colección Informe. 123 pp. + planos.
- Llamas, M.R., Vilaró, F., 1967. Die Rolle der Grundwasserspeicher bei der Wasserversorgung von Barcelona. Das Gas- und Wasserfach, Wasser-Abwasser. Vol 34 nº 15. pp. 945-953.
- Manzano, M., Custodio, E., 1987. Muestreo de agua intersticial en acuitardos: aplicación al delta del Llobregat. VI Asamblea Nacional de Hidrogeología. Palma de Mallorca, 1987. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, XXII, pp. 883-887. Conjuntamente con M. Manzano.
- Marqués, M.A., 1975. Las formaciones cuaternarias del delta del Llobregat. Acta Geológica Hispánica. Vol. X. pp. 21-28.
- Marques de Silva, M., Custodio, E., 1988. Síntese isotópica dos aquíferos do delta do Llobregat (Catalunha-Espanha). Simp. de Geoquímica. Universidade de Aveiro. (En prensa). 29 pp.

- Medina, A., Carrera, J., Custodio, E., 1987. Estimación de perímetros en las ecuaciones de flujo y transporte bajo régimen estacionario. VI Asamblea Nacional de Hidrogeología. Palma de Mallorca, 1987. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. XII. pp. 649-664.
- MOP, 1966. Estudio de los recursos hidráulicos totales de las cuencas de los ríos Besòs y Bajo Llobregat, 2º informe. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona. 4 Vols. _
- Moragas, G., 1986. Corrientes subterráneas: estudio general del régimen de las aguas contenidas en terrenos permeables y especial del régimen de la corriente subterránea del delta del acuífero del Besòs (Barcelona). Revista de Obras Públicas. Madrid, 1896.
- Niñerola, S., Doménech, J., 1970. Ejemplos de embalses subterráneos con capacidad reducida: abastecimientos a Lloret de Mar (provincia de Gerona). Documentos de Investigación Hidrológica nº 8. Coloquio de Sevilla. Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua, Barcelona. pp. 155-168.
- Pascual, M., Bosch, X., Iribar, V., Bayó, A., Custodio, E., 1986. Intrusión marina en calizas costeras: aplicación a Garraf Sur y Vandellòs (Cataluña). Kast-Euskadi, 86. Vol. 1. pp. 287-299.
- Pascual, M., Custodio, E., 1987. Procesos hidrogeoquímicos en la zona de mezcla de agua dulce-agua salada en el litoral del extremo meridional del macizo carbonatado de Garraf (Tarragona). VI Asamblea Nacional de Hidrogeología. Palma de Mallorca, 1987. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. XI. pp. 477-492.
- Peláez, M.D., 1982. Metodología en el estudio geohidrológico de formaciones semipermeables. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. Tomo 1. pp. 763-770.
- Peláez, M. D. (1982). Metodología en el estudio geohidrológico de formaciones semipermeables. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. Tomo 1, pp. 763-770.
- Peláez, M.D., 1983. Aplicación de los isótopos ambientales y de la composición química al estudio del movimiento de las aguas a través de los acuitardos del delta del río Llobregat. Tesis doctoral. Facultad de físicas. Barcelona. Resumen editado por la Universidad Politécnica de Catalunya.

- PHPO, 1985. Nuevo modelo de simulación de los acuíferos del Valle Bajo y Delta del río Llobregat. Plan Hidrológico del Pirineo Oriental. Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental.
- REPO, 1971. Estudio de los recursos hidráulicos totales del Pirineo Oriental. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona. 27 vols.
- Informe hidrológico de la zona aluvial del Bajo Ter. Zona Norte.
 - Informe sobre la construcción, ajuste y utilización de un modelo matemático de los acuíferos del Bajo Llobregat. Zona centro.
 - Informe Garraf-Penedés-Gaià. Zona sur.
 - Informe de los recursos hidráulicos de la cuenca del río Tordera. Zona norte.
 - Informe sobre los recursos hidráulicos de los deltas de los ríos Fluvià y Muga. Zona Norte.
 - Informe sobre los recursos hidráulicos de la Comarca de Reus-Valls-Tarragona. Zona Sur.
 - Informe sobre los recursos hidráulicos del sistema montañoso occidental. Zona Sur.
- REPO, 1971. Estudio de los recursos hidráulicos totales del Pirineo Oriental. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. DGOH-MOP. (folleto resúmen divulgativo). 62 pp.
- Santa María, L., Marín, A., 1910. Estudios hidrológicos en la cuenca del río Llobregat. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España. Madrid. pp. 31-52.
- Touris, R., Custodio, E., 1983. Nuevos conocimientos hidrológicos del Bajo Ebro. V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid. Instituto Geográfico Nacional.
- Torrens, J., 1976. Contribución al estudio de la salinidad en el área costera de Tarragona. I Simposio Nacional de Hidrogeología. Grupo de Trabajo de Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Valencia. Vol. 11.
- Vilaró, F., 1967. Balance del aprovechamiento actual del Bajo Llobregat. Documentos de Investigación Hidrológica nº 2. Barcelona. Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua. Barcelona. pp. 155-169.
- Vilaró, F., Martín Arnáiz, M., 1968. Balance hídrico del Llobregat. Seminario de Balances Hídricos. FAO-IGME. Madrid.
- Vilaró, F., Custodio, E., Bruington, A., 1970. Sea water intrusion and water pollution in the Pirineo Oriental (Spain). American Soc. Civil Engineers, National Water Resources Meeting. Memphis. Tenn. January, 42 pp.

- Vilaró, F., Custodio, E., 1972. Calidad de las aguas superficiales y subterráneas en el Pirineo Oriental. Actas de las II Jornadas Técnicas del Medio Ambiente. Feria Oficial e Internacional de Muestras de Barcelona. pp. 79-103. Barcelona, 1972.
- Vilaró, F., Custodio, E., 1973. Data acquisition and methodology for a simulation model of the Llobregat delta (Barcelona, Spain). Symposium on Design of Water Resources Projects with Inadequate Data. UNESCO-WMO-IASH. Madrid. Studies and Reports in Hydrology nº 16. Vol. 1. pp. 581-598.
- Villarroya, M., 1986. Estudio hidrogeológico del acuífero costero del Maresme Sur. Tesis doctoral. Dep. de Prospección Geológica y Geofísica. Universidad de Barcelona. 2 vols.