

# HIDROLOGIA SUBTERRÀNIA DEL MIGJORN

---

Jordi Giménez<sup>1</sup>, Bernadí Gelabert<sup>2</sup> i Alfredo Barón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Direcció General de Recursos Hídrics. Conselleria de Medi Ambient. Govern Balear*

<sup>2</sup>*Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears*

## INTRODUCCIÓ

El Pla Hidrològic de les Illes Balears distingeix tres unitats hidrogeològiques a l'illa de Menorca: Albaida, Fornells i Migjorn. La unitat d'Albaida coincideix pràcticament amb els afloraments de calcàries del Lias (Juràssic inferior) situats a l'E d'Es Mercadal i al N d'Alaior. La unitat de Fornells equival als afloraments de materials del Paleozoic i Triàsic de la zona de Tramuntana de Menorca. Per últim, la unitat de Migjorn inclou els afloraments de calcàries i calcarenites del Miocè superior del Migjorn i N de Ciutadella, juntament amb els afloraments de calcàries del Lias localitzades a l'E de Ciutadella (Fig. 7.1). L'objectiu d'aquest treball és sintetitzar les dades existents sobre la hidrologia subterrània de la unitat hidrològica del Migjorn de Menorca, incidint especialment sobre aspectes com l'evolució temporal i espacial dels nivells freàtics, la qualitat de les aigües subterrànies, els volums d'aigua emmagatzemats i els paràmetres hidrològics dels materials.

## ANTECEDENTS

Els primers treballs sobre les aigües subterrànies del Migjorn de Menorca són els de Fayas (1972), i Fayas i Bayó (1973 i 1978) que se centren en l'estudi dels recursos hídrics totals de l'illa de Menorca. Posteriorment Barón *et al.* (1979 i 1984) aclareixen les relacions entre el model geològic, establert inicialment per Obrador (1970) i el model hidrològic de l'aqüífer del Migjorn. Els treballs més recents són els impulsats i realitzats des del Servei d'Estudis i Planificació de la Direcció General de Recursos Hídrics de la Conselleria de Medi Ambient del Govern Balear, i que han estat utilitzats en gran mesura per a l'elaboració del Pla Hidrològic de les Illes Balears (Junta d'Aigües de Balears, 2000). Aquests treballs consisteixen bàsicament en un control periòdic dels nivells i del contingut de clorurs i nitrats en diversos punts dels aquífers de Menorca. D'altra banda també s'ha realitzat una digitalització de la cartografia existent i s'han classificat els materials en funció de la seva naturalesa com a possibles reservoris d'aigua (Fig. 7.1). Per a l'elaboració del Pla Hidrològic de les Illes Balears s'han fet en aquest Servei estudis diversos com són el balanç hídric de l'illa de Menorca, l'estimació de les futures demandes d'aigua, el control dels focus de contaminació, etc.

## LES UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES DE MENORCA

La distribució de les unitats hidrogeològiques de l'illa de Menorca es troba relacionada amb l'estructura, l'estratigrafia i la geomorfologia de l'illa. La regió de Tramuntana es divideix en dues unitats: Albaïda i Fornells. La unitat d'Albaïda és l'única que no està comunicada amb el mar i està constituïda bàsicament per afloraments permeables del Mesozoic (calcàries del Lias). La resta de la regió septentrional, on dominen els afloraments poc permeables del Paleozoic i del Triàsic, constitueix la unitat de Fornells, que es caracteritza per aqüífers locals de menor importància. La regió del Migjorn, per la seva composició litològica (calcàries i calcarenites del Miocè superior) i la seva estructura (a grans trets la unitat és quasi horitzontal), constitueix una unitat per si mateixa, i és l'aqüífer principal de l'illa, com ho demostra el fet que la gran majoria de pous d'abastament urbà s'hi situen dins.

Per tal de tenir una aproximació sobre les

dimensions i característiques litològiques dels materials de cadascun dels aqüífers de Menorca, a la taula següent (taula 7.1) s'indica l'extensió de cadascuna de les unitats hidrogeològiques, juntament amb les àrees aproximades que ocupa cadascun dels materials que es poden considerar permeables (Miocè, Lias i Quaternari). En aquesta mateixa taula, també es mostra el tant per cent de l'àrea de cada unitat que es pot considerar com a permeable (i per tant com a zona de recàrrega), i el percentatge de superfície no permeable, on la infiltració és mínima. Aquests valors seran utilitzats en apartats posteriors per al càlcul del balanç hídric de la unitat de Migjorn.

En aquesta taula es pot observar que gairebé la totalitat de l'àrea de la unitat de Migjorn (un 99%) es pot considerar com a permeable, mentre que a la unitat de Fornells solament el 15% dels afloraments es poden considerar com a permeables. De més a més, els pocs afloraments permeables de la unitat de Fornells se situen a prop de la costa; per tant, les aigües que s'hi infiltren es perden ràpidament cap al mar. En quant a la unitat

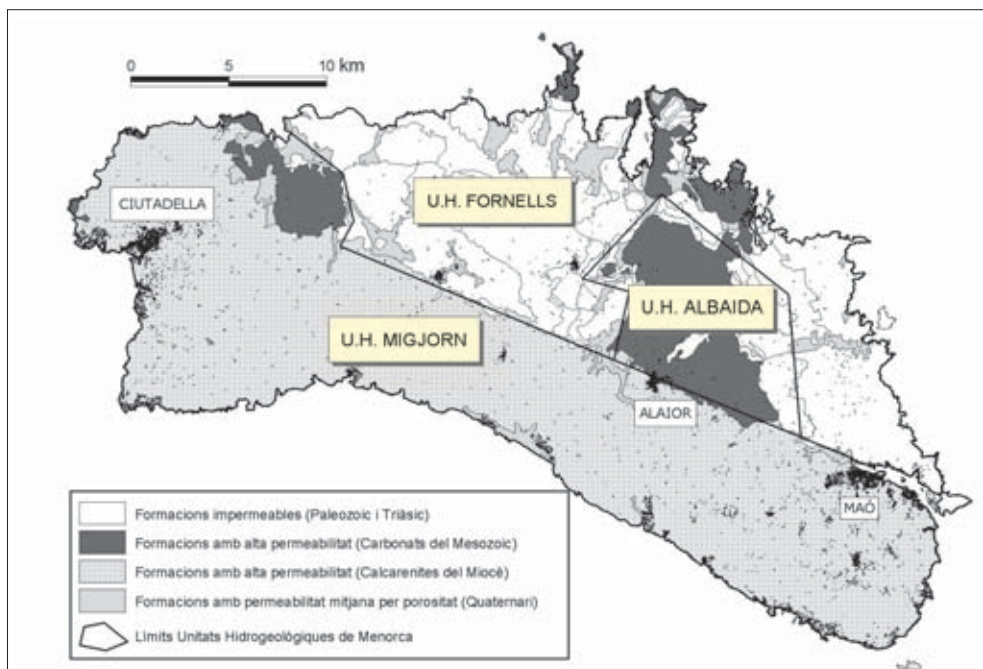


Fig. 7.1. Esquema geològic de l'illa de Menorca en el que s'han agrupat els materials aflorants segons les seves característiques hidrogeològiques. La figura mostra també els límits de les unitats hidrogeològiques de l'illa.

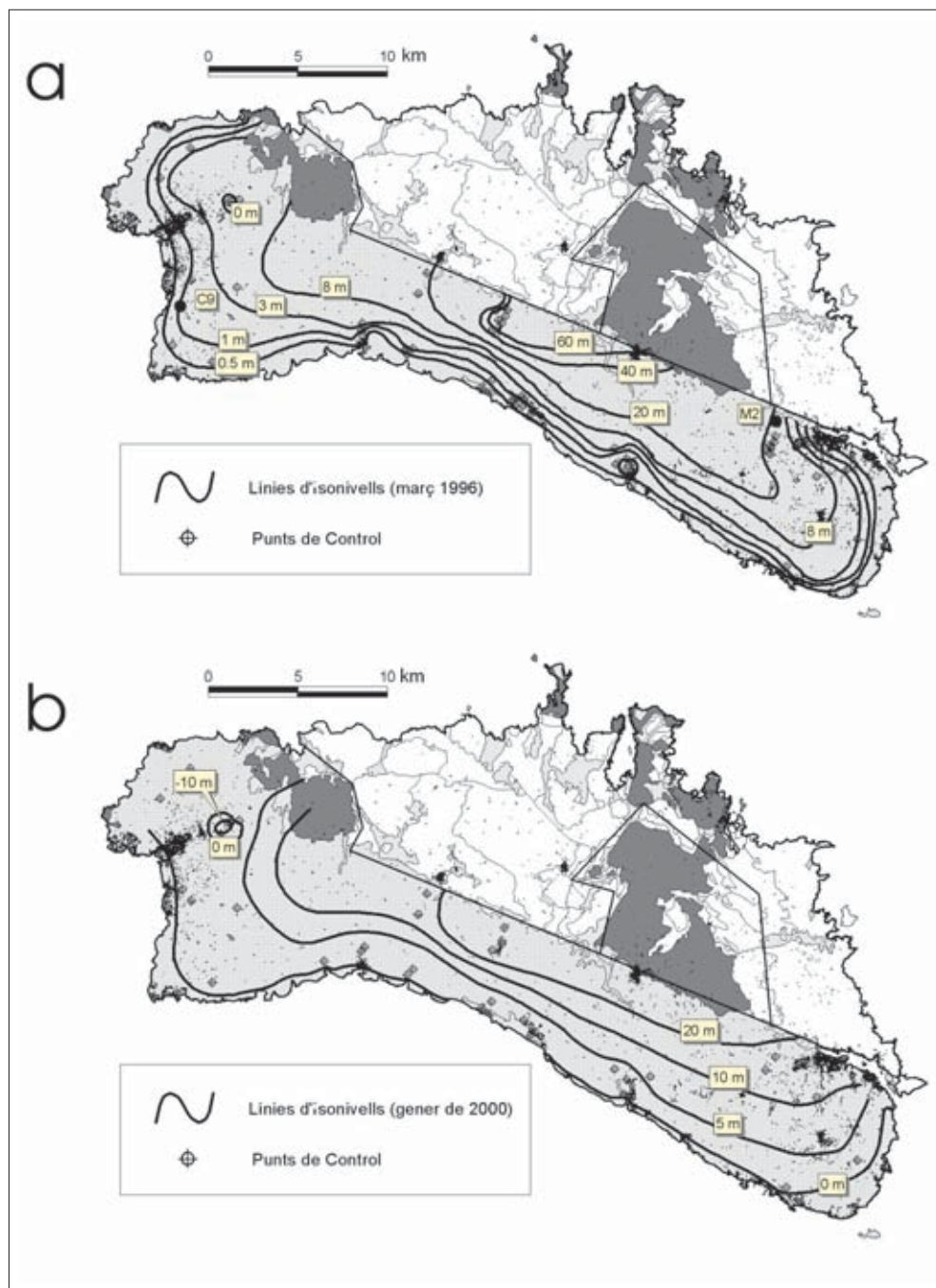


Fig. 7.2. Mapes piezomètrics de la unitat hidrogeològica de Migjorn. A la part superior es mostra l'estat dels nivells en març de 1996 i, a la part inferior, l'estat el gener de 2000. Es mostra també, la situació dels piezòmetres de control utilitzats per a realitzar les isolínies, i en la figura superior s'indica la situació dels dos piezòmetres de la figura 7.3 (C9 i M2).

d'Albaida, més de la meitat dels afloraments són de caràcter permeable (63%) i permeten la infiltració de gran part de la pluja en aquest sector.

## LA UNITAT HIDROGEOLÒGICA DEL MIGJORN

En els següents apartats es dona una visió sobre els aspectes principals de la hidrologia subterrània de la unitat del Migjorn com són: les característiques piezomètriques, els valors dels paràmetres hidrològics, la qualitat de l'aigua subterrània i el funcionament hidrològic de l'aqüífer.

### Piezometria

#### DISTRIBUCIÓ ESPACIAL

La distribució espacial de les línies isopiezes dins la unitat de Migjorn es mostra en els dos mapes piezomètrics que es presenten (Fig. 7.2). En el mapa superior s'observa l'estat de les línies d'isonivells en el mes de març de 1996 i en l'inferior les isopiezes de gener de 2000. Cal destacar en primer lloc la diferència que hi ha entre les cotes d'ambdós mapes, que ha de ser atribuïda a l'època de la presa dels nivells i a la sequera dels darrers anys de la dècada dels 90. Tot i així, s'hi poden destacar aspectes comuns: un flux radial de l'aigua des del centre de l'illa cap al S, E i W; i una diferència en el pendent dels nivells piezomètrics. El primer aspecte està relacionat en gran part amb el fet que les màximes cotes topogràfiques són a les zones centrals de l'illa, i com l'aqüífer de Migjorn es comporta com un aquífer lliure, els nivells piezomètrics estan directament relacionats amb la cota del terreny.

En quant a la diferència en els gradients de les corbes isopiezes, s'observa que en el sector central el pendent és molt pronunciat, essent menys pronunciat al sector de Maó, i encara més suau a la zona de Ciutadella. Aquesta diferència pot ser relacionada amb les fàcies dels materials per on circula l'aigua subterrània. De fet, les fàcies menys poroses i, a grans trets, menys permeables, impedeixen una circulació ràpida i provoquen un gradient més elevat, mentre que les fàcies miocèniques més permeables permeten una ràpida circulació de l'aigua i en conseqüència, un gradient baix. Aquest fet ens indica que els materials de la zona central del Migjorn són menys permeables que els de les zones oriental i occidental, essent aquestes últimes les més permeables.

Un altre fet destacable és l'elevada cota que assoleix l'aigua en el sector de Tramuntana, especialment cap a la unitat d'Albaida (sobretot en el mapa del mes de març de 1996). Aquest fenomen, a part d'estar relacionat amb la cota topogràfica, s'interpreta com que la unitat d'Albaida alimenta subterràniament la unitat de Migjorn. En ambdues figures també s'observen les depressions causades per l'extracció d'aigua per a l'abastament urbà, que arriben a fer descendir el nivell fins a -10 m a la zona de Ciutadella en el mapa de gener de 2000.

#### EVOLUCIÓ TEMPORAL

Per tal de mostrar quina és la tendència històrica del nivell de l'aigua subterrània, s'han seleccionat dos pous dels quals la Direcció General de Recursos Hídrics disposa d'una sèrie temporal llarga. Es tracta, de més a més, de pous de control on no es produeixen grans extraccions

Unitat	Àrees (km <sup>2</sup> )						Percentatge	
	Total	Miocè	Lias	Quaternari	Permeable	No Permeable	No Permeable	Permeable
Albaida	74,38	0,78	45,19	0,61	46,58	27,8	37,38	62,62
Fornells	227,77	0,28	14,38	20,13	34,79	192,98	84,73	15,27
Migjorn	390,64	360,95	16,51	8,71	386,17	4,47	1,14	98,86
Illa Menorca	692,79	362,01	76,08	29,45	467,54	225,25	32,51	67,49

Taula 7.1. Àrees permeables i no permeables de les unitats hidrogeològiques de Menorca.

i on està ben referenciada la profunditat del sondatge i la cota de la boca del pou. Aquests pous se situen en els extrems de la unitat (Fig. 7.2a): un a l'oest de Maó, a uns 2 km de la línia de costa i a una cota de 77.1 m (sondatge M2), i l'altre al sud de Ciutadella, al voltant d'un quilòmetre de la costa i a una cota de 17.44 m (sondatge C-9).

A la figura 7.3 es mostra l'evolució del nivell piezomètric d'ambdós sondatges des de l'any 1984 fins a finals de l'any 2003. En tots dos sondatges és visible una tendència progressiva de baixada del nivell piezomètric, més acusada en el sondatge de Maó. Que el sondatge de Maó mostri una baixada més pronunciada que no el de Ciutadella, ha de ser atribuït a que aquest és molt a prop de la costa i el seu nivell està condicionat pel nivell del mar. Així, el nivell de l'esmentat pou mostra oscil·lacions que no superen els 2 m, mentre que el de Maó ha baixat de l'ordre de 15 m en 20 anys, amb oscil·lacions interanuals de l'ordre dels 5 m. Tot i així, la tendència en ambdós sondatges és negativa, i especialment negativa entre els anys 1988 i 1995, notant-se un canvi de pendent en els darrers anys, sense arribar-se a invertir la tendència al descens.

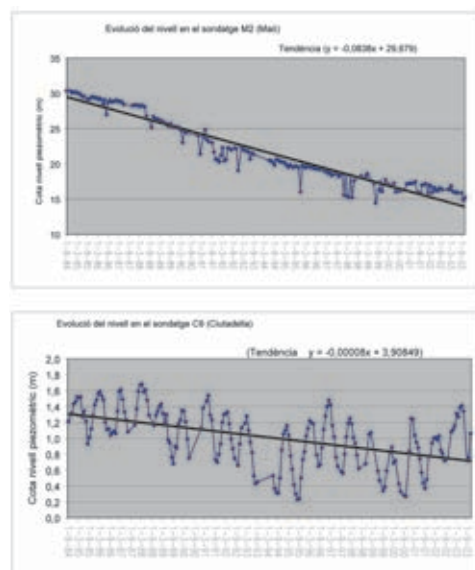


Fig. 7.3. Evolució històrica (entre 1984 i 2003) de la cota d'aigua a dos pous del Migjorn de Menorca: Maó (M2) i Ciutadella (C9). La situació geogràfica dels pous es mostra a la figura 7.2 (part superior).

## Paràmetres hidrològics

Els principals paràmetres hidrològics de la unitat de Migjorn com la porositat, la permeabilitat i la transmissivitat presenten variacions importants en funció de les fàcies del Miocè superior. La porositat eficaç varia entre el 2% i el 10-15%, i la permeabilitat varia entre 1 m/dia i 20 m/dia. De la mateixa manera i segons dades obtingudes a partir d'assaigs de bombeig realitzats per l'ITGE i la Direcció General de Recursos Hídrics, la transmissivitat oscil·la entre els 10-25 m<sup>2</sup>/dia i els 400 m<sup>2</sup>/dia a la zona central; entre els 10-30 m<sup>2</sup>/dia i els 500-600 m<sup>2</sup>/dia en el sector oriental; mentre que a la zona occidental els valors de transmissivitat varien entre 40 i 1300 m<sup>2</sup>/dia. Per tant, les transmissivitats més elevades es localitzen a la zona de Ciutadella, i les més baixes es localitzen a la zona central. Aquest fet està d'acord amb el suau pendent que mostren les isolínies de nivells a Ciutadella i el fort pendent que mostren a la zona central (Fig. 7.2). Finalment, el coeficient d'emmagatzemament varia entre 0.01 i 0.001 per el conjunt del Miocè superior (Junta d'Aigües de Balears, 2000).

## Qualitat de l'aigua

En general, les aigües de la unitat hidrogeològica del Migjorn són de mineralització mitjana-alta, bicarbonatades càlciques, que passen a ser clorurades sòdiques en les zones afectades per intrusió marina.

Els problemes de contaminació per clorurs d'origen marí són especialment importants al sector occidental de la Unitat (Fig. 7.4a), on es produeixen els bombejaments per a l'abastiment d'aigua a Ciutadella. La salinitat en aquesta zona ha arribat, ara ja fa una dècada, a les 2000 ppm (Junta d'Aigües de Balears, 2000). A la figura 7.4a s'observa que el contingut en clorurs l'any 1997 era superior a les 600 ppm a tot el sector occidental de la plataforma de Ciutadella, superant les 2000 ppm a les zones properes a la ciutat. Així mateix, a la zona nord de Ciutadella també es produeix intrusió marina a la zona costanera, especialment al

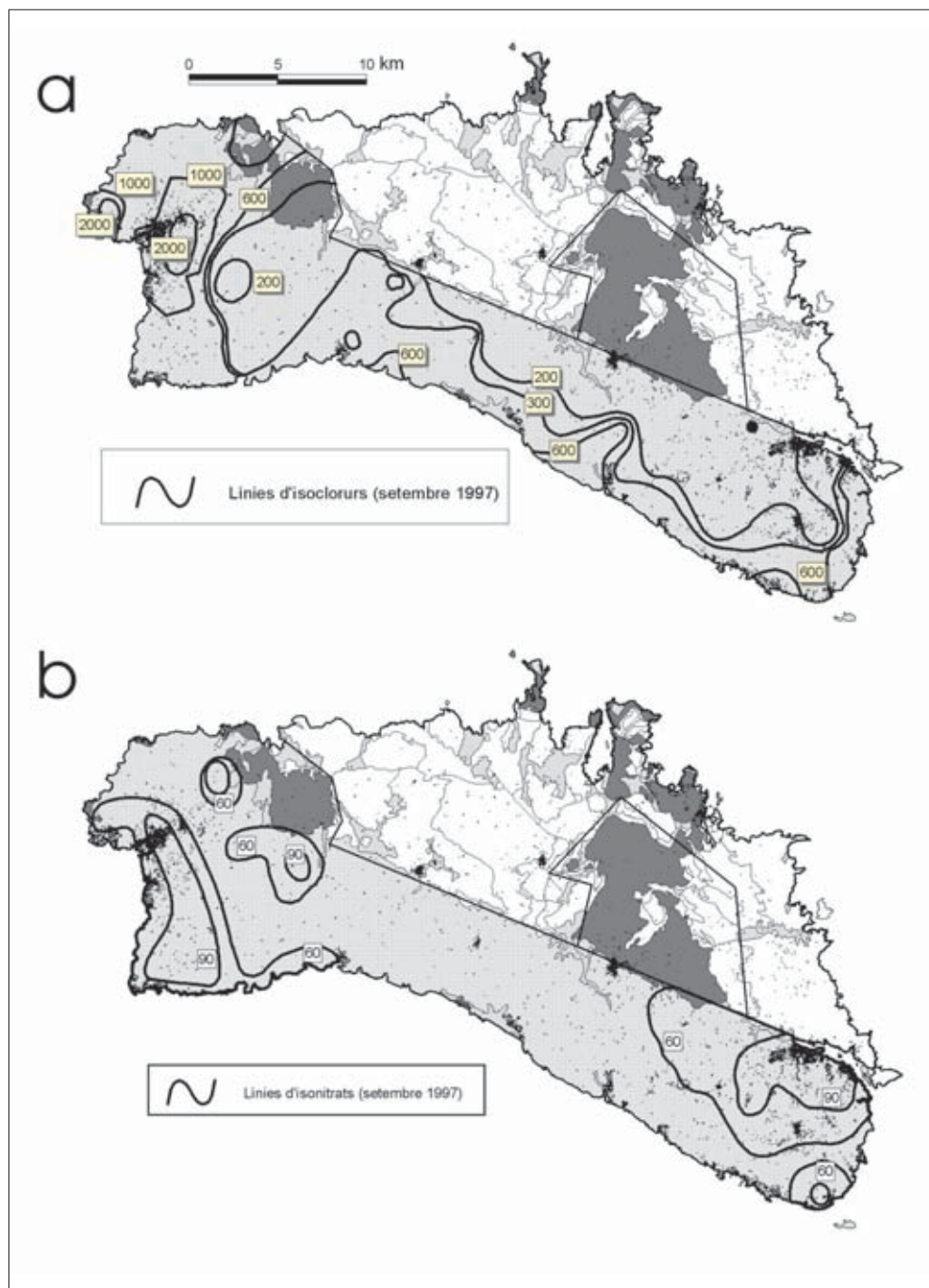


Fig. 7.4. Mapes de continguts en clorurs (part superior) i en nitrats (part inferior) de la unitat hidrogeològica de Migjorn. Les dades corresponen a setembre de 1997 i s'expressen en ppm.

cap de Banyos, amb concentracions que superen les 1000 ppm.

En el sector central, les zones amb major concentració de clorurs són les pròximes a la costa i que estan sotmeses a una extracció important per part de l'home. En aquestes àrees l'any 1997 arribava a valors superiors a les 600 ppm de ió clorur (Fig. 7.4a). En el sector oriental de Migjorn també es dona intrusió marina a la costa, especialment a les zones d'Es Castell i Sant Lluís, amb valors semblants als de la zona central.

Aquestes diferències en la intrusió marina poden ser atribuïdes novament a les fàcies miocèniques de cada sector. Així, l'alta permeabilitat de les fàcies a la zona de Ciutadella provoca que la cota del nivell piezomètric sigui molt baixa, inferior als 5 m en el sector més occidental de la plataforma de Ciutadella. Això, juntament amb les extraccions abusives d'aigua, ha permès un ràpid avanç de l'aigua marina cap a l'interior.

La contaminació per nitrats en el Migjorn no es pot considerar elevada, ja que gran part de la unitat es troba en valors inferiors a les 50 ppm, que és el límit màxim admissible (Fig. 7.4). Tot i així en les proximitats de Ciutadella existeixen focus contaminats on es poden assolir les 200 ppm; a banda, en gran part de les plataformes de Ciutadella i Maó els valors estan entre 60 i 90 ppm. Les altes concentracions de nitrats a la zona de Ciutadella segurament són degudes a les activitats agrícoles. A la resta de l'illa l'origen de la contaminació ha de ser atribuïda als pous negres i a les fosses sèptiques, tot i que l'agricultura hi contribueixi.

### Balanç hídric de la Unitat de Migjorn

Per a la realització del balanç hídric de la Unitat de Migjorn s'han utilitzat gran part de les dades del Pla Hidrològic de les Illes Balears (Junta d'Aigües de Balears, 2000). Per a poder calcular la infiltració deguda a la pluja, s'han obtingut les àrees permeables mitjançant la cartografia digital (taula 7.1). A la taula 7.2 es resumeix el balanç hídric de la unitat de Migjorn.

La principal recàrrega es produeix per infiltració de l'aigua de pluja caiguda sobre els afloraments permeables. Suposant una pluviometria mitjana anual de 588 mm, una infiltració del 27% de l'aigua precipitada, i considerant que la superfície permeable és de 386.17 km<sup>2</sup>, la recàrrega mitjana anual deguda a la pluja és de 61.3 hm<sup>3</sup>. Segons el Pla Hidrològic de les Illes Balears, altres recàrregues menors són les produïdes a partir de les pèrdues en les xarxes d'abastiment (2.9 hm<sup>3</sup>), pels retorns de reg (1.7 hm<sup>3</sup>) i per la infiltració de les aigües residuals depurades procedents de les Estacions de Depuració d'Aigües Residuals de Sant Lluís, Alaior, Es Migjorn Gran, Sant Climent i Ferreries (2.5 hm<sup>3</sup>). També s'ha de comptar amb la transferència subterrània d'aigua des de la unitat d'Albaida cap a la de Migjorn (uns 3 hm<sup>3</sup>). En total, la recàrrega a la unitat de Migjorn és de 68.91 hm<sup>3</sup>.

La principal descàrrega de la unitat es produeix de forma natural cap al mar (47.1 hm<sup>3</sup>/any). Altres descàrregues (1.15 hm<sup>3</sup>/any) es deuen al drenatge natural cap a torrents, principalment cap al barranc d'Algendar i cap a la zona humida de Son Bou. També es produeix descàrrega artificial

	Entrades		Sortides	
l/m <sup>2</sup>	Precipitació mitjana	588		
	Infiltració mitjana (27%)	158,76		
hm <sup>3</sup>	Infiltració total	61,31	Al mar	47,1
	Pèrdues xarxa urbana	2,9	A torrents	1,15
	Retorn reguiu	1,7	Reguiu	10
	Transferència Albaida	3	Abast urbà	11
	Total càrrega	68,91	Total descàrrega	69,25
	Balanç hídric	-0,34		

Taula 7.2. Balanç hídric de l'illa de Menorca.

mitjançant el bombejament dels pous d'abastiment urbà, amb una extracció calculada en 10 hm<sup>3</sup> i per l'extracció dels pous de reguiu, amb un volum de l'ordre dels 11 hm<sup>3</sup>.

Aquestes dades indiquen que el balanç hídric de la unitat es lleugerament negatiu (-0.34 hm<sup>3</sup>), cosa que concorda amb la tendència de les corbes dels sondatges presentades.

## CONCLUSIONS

La Unitat Hidrològica de Migjorn pot ser considerada com el principal aqüífer de Menorca ja que: 1) ocupa gairebé la meitat de l'extensió de l'illa; 2) està format en la seva gran majoria per materials permeables que permeten una infiltració de gran part de la precipitació; i 3) de més a més, presenta transmissivitats que arriben a valors superiors als 1000 m<sup>2</sup>/dia (tot i que en certes zones no supera els 100 m<sup>2</sup>/dia), cosa que permet extreure cabals importants. En una primera aproximació, el volum d'aigua que pot emmagatzemar la unitat de Migjorn pot ser calculat si considerem que l'aigua subterrània de la unitat es disposa formant un prisma de secció triangular de uns 5 km d'altura (distància mínima entre el mar i el límit de la unitat de Migjorn amb les unitats de Fornells i Albaida) per uns 20 metres de base (potència mínima de roca saturada d'aigua a la zona limítrofa amb Fornells i Albaida) i considerant que aquest prisma té una llargada de 40 km (Fig. 7.5), el volum de roca que podria estar saturat d'aigua es de 2000 hm<sup>3</sup>. Suposant una porositat eficaç mínima de un 2%, el volum d'aigua mínim emmagatzemat dins l'aqüífer de Migjorn és de 40 hm<sup>3</sup>. Aquest valor ha de ser considerat com a volum mínim, ja que és difícil determinar el gruix de material del Miocè que està saturat d'aigua.

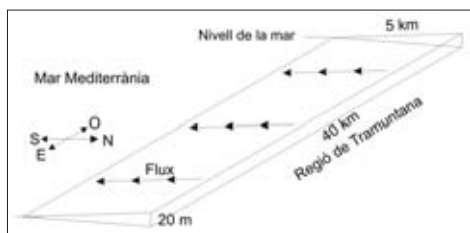


Fig. 7.5. Esquema de l'aqüífer de Migjorn.

D'altra banda, les accions humanes han anat debilitant aquest aqüífer fent davallar els nivells piezomètrics i contaminant les aigües. La minva del nivell, juntament amb el fet que la unitat està voltada de mar, han provocat una salinització de grans àrees, especialment aquelles on hi ha una major concentració humana. La qualitat de les aigües també ha estat degradada per l'activitat agrícola i per la mala conservació i/o construcció de les fosses sèptiques.

## Agraïments

El present estudi ha estat possible gràcies al finançament del projecte d'investigació BTE2002-045552-C03-02 del Ministeri de Ciència i Tecnologia.

## BIBLIOGRAFIA

- BARÓN, A., BAYÓ, A. i FAYAS, J.A. 1979. Relación modelo geológico-modelo hidrogeológico. Ejemplo: El acuífero mioceno de la isla de Menorca. *II Simposio Nacional de Hidrogeología*. Pamplona.
- BARÓN, A., BAYÓ, A. i FAYAS, J.A. 1984. Valor acuífero del modelo sedimentario de plataforma carbonatada del Mioceno de la isla de Menorca. A: Obrador, A. (Ed.). *Libro Homenaje a Luis Sánchez de la Torre*. Grupo Español de Sedimentología. Publicaciones de Geología, nº 20. Universitat Autònoma de Barcelona.
- FAYAS, J.A. 1972. *Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de la isla de Menorca. Primer informe*. Servicio Geológico de Obras Públicas.
- FAYAS, J.A. i BAYÓ, A. 1973. Los Recursos Hidráulicos Totales de la isla de Menorca. V *Coloquio de Investigaciones sobre el agua*. San Sebastián.
- FAYAS, J.A. i BAYÓ, A. 1978. Water Resources of Minorca. Evaluation, exploitation and control. Economic Commission for Europe. Malta.
- JUNTA D'AIGÜES DE BALEARS 2000. *Assistència Tècnica d'Actualització de bases de dades*, Cartografia Digital i Edició del Pla Hidrològic de les Illes Balears i la seva Documentació Bàsica. Tom IV (Menorca, Eivissa i Formentera) de la Monografia de les Unitats Hidrogeològiques. Govern de les Illes Balears, Conselleria de Medi Ambient i Eptisa.
- OBRAJOR, A. 1970. Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales miocénicos de la isla de Menorca. *Acta Geológica Hispánica*, 5: 19-23.
- PLA HIDROLÒGIC DE LES ILLES BALEARS. 2000. Aprovat pel Consell de Ministres segons R.D. 378/2001 de 6 d'Abril (B.O.E. nº 96 de 21 de abril de 2001). Normativa publicada en el BOIB nº 77 de 27 de juny de 2002. Govern de les Illes Balears.