

***L'aqüífer del Garraf***  
***Itinerari-sortida de camp dirigit a***  
***alumnes d'ensenyament secundari***  
***(Guia per al professorat)***

***Característiques geològiques i hidrogeològiques del sistema aqüífer***

***La carstificació i la morfologia càrstica***

***Funcionament hidràulic de l'aqüífer***

***La gestió de les aigües***

***La contaminació de les aigües***

***Altres problemes ambientals del massís de Garraf***

**Dr. José M<sup>a</sup> Carmona Pérez**  
**Professor Titular d'Hidrogeologia**  
**Universitat de Barcelona**

***Per citar aquest llibre:***

Carmona, J.M. (2003). L'aqüífer del Garraf. Itinerari-sortida de camp dirigit a alumnes d'ensenyament secundari (Guia per al professorat). Publicacions Universitat de Barcelona. 58 pàg.

***Dades identificatives:***

58 p. : il. (algunes col.), gráf., mapes. ISBN: 8447527344. Dipòsit Legal: DL B. 5528-2003. Bib-id: .b30255077



UNIVERSITAT DE BARCELONA



*Grup de Geologia  
Econòmica i Ambiental*

Departament de Geoquímica,  
Petrologia i Prospecció Geològica.  
Facultat de Geologia

Correu electrònic: josem@natura.geo.ub.es

# ***L'aqüífer del Garraf***

## ***Itinerari-sortida de camp dirigit a alumnes d'Ensenyament Secundari***

### ***(Guia del professor)***

***Característiques geològiques i hidrogeològiques del  
sistema aqüífer***

***La carstificació i la morfologia càrstica***

***Funcionament hidràulic de l'aqüífer***

***La gestió de les aigües***

***La contaminació de les aigües***

***Altres problemes ambientals del Massís del Garraf***

**Dr. José M<sup>a</sup> Carmona Pérez**  
**Professor Titular d'Hidrogeologia**  
**Universitat de Barcelona**

**(abril de 2002)**

**ÍNDEX**

<i>Introducció general a l'itinerari a realitzar</i> .....	1
<i>Objectius de l'itinerari</i> .....	1
<i>Com accedir a la carretera de Gavà a Begues: parades 1 a 5</i> .....	2
<b>Parada 1</b> .....	4
Situació de la parada 1.....	4
Objectius de la parada 1.....	4
Presentació de les unitats geològiques del Massís del Garraf.....	4
Elements a observar a la parada 1.....	10
<b>Parada 2</b> .....	11
Situació de la parada 2.....	11
Objectius i precaucions a prendre a la parada 2.....	11
Elements a observar a la parada 2.....	11
<b>Parada 3</b> .....	13
Situació de la parada 3.....	13
Objectius de la parada 3.....	13
Conceptes previs.....	14
Elements a observar a la parada 3.....	17
<b>Parada 4</b> .....	18
Situació i objectius de la parada 4.....	18
Elements a observar a la parada 4.....	18
Elements a observar entre les parades 4 i 5.....	18
<b>Parada 5</b> .....	19
Situació de la parada 5.....	19
Objectius de la parada 5.....	19
Elements a observar a la parada 5.....	19
<i>Com accedir a la carretera de La Pleta: parades 6 a 14</i> .....	21
<b>Parada 6</b> .....	21
Situació de la parada 6.....	21
Objectius de la parada 6.....	21
Elements a observar a la parada 6.....	21
<b>Parada 7</b> .....	23
Situació de la parada 7.....	23
Objectius de la parada 7.....	23
Elements a observar a la parada 7.....	23

<b>Parada 8</b> .....	25
Situació i objectius de la parada 8.....	25
<b>Parada 9</b> .....	26
Situació de la parada 9 .....	26
Objectius de la parada 9 .....	26
Complement de conceptes teòrics. 1 <sup>a</sup> part .....	27
Complement de conceptes teòrics. 2 <sup>a</sup> part .....	30
Complement de conceptes teòrics. 3 <sup>a</sup> part .....	33
Elements d'observació i reflexió a la parada 9 .....	33
<b>Parades 10 a 14</b> .....	36
Presentació de les parades 10 a 14 .....	36
Objectius de les parades 10 a 14.....	36
Situació i elements a observar a la parada 10 .....	36
Situació i elements a observar a la parada 11 .....	38
Situació i elements a observar a la parada 12 .....	38
Situació i elements a observar a la parada 13 .....	39
Situació i elements a observar a la parada 14.....	47
<b>Bibliografia</b> .....	52

## ÍNDEX DE FIGURES

<b>Figura 1:</b> Itinerari a seguir amb indicació de les diferents parades que es poden realitzar. La primera i segona parades queden fora del mapa. Situació de l'abocador de Residus Sòlids Urbans (RSU) de la Vall de Joan (abocador de Barcelona i àrea metropolitana). Mapa de base: figura 18 (pàg. 101) de Panareda, J.M. (1986) .....	3
<b>Figura 2:</b> Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (1 de 4) .....	5
<b>Figura 3:</b> Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (2 de 4) .....	6
<b>Figura 4:</b> Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (3 de 4) .....	7
<b>Figura 5:</b> Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (4 de 4) .....	8
<b>Figura 6:</b> Mapa geològic (IGME, 1975). Verd fosc: pissarres i filites paleozoïques. Taronja: calcàries paleozoïques (Silurià-Devonià). Rosa: Buntsandstein. Colors lila i rosats: Muschelkalk. Blau: Juràssic. Verd clar: Cretàc .....	9
<b>Figura 7:</b> Ancoratge d'una capa que estava esllavissant cap a la carretera Gavà-Begues .....	12
<b>Figura 8:</b> Una formació geològica ha de presentar aquestes dues propietats per ser aqüífer .....	15
<b>Figura 9:</b> Un aqüífer és una formació geològica que emmagatzema aigua perquè és una roca porosa (per això també s'anomena embassament subterrani) .....	15
<b>Figura 10:</b> En un aqüífer els porus han d'estar interconnectats perquè l'aigua pugui circular lliurement (permeabilitat) .....	16
<b>Figura 11:</b> Superfície d'una diàclasi on s'observen fissures engrandides i obertes per dissolució de la roca calcària .....	20
<b>Figura 12:</b> En la proximitat d'una falla, les capes poden deformar-se. ....	23
<b>Figura 13:</b> La dissolució de les roques calcàries és més important a les zones de diàclasi o fractures en general (línies vermelles). S'observa també l'estratificació (línies verdes). ....	25
<b>Figura 14:</b> Reaccions que donen lloc a la dissolució de la calcita (o dolomita) i que expliquen a més perquè les aigües subterrànies són fonamentalment bicarbonatades càlciques .....	28
<b>Figura 15:</b> Principals formes exocàrstiques (en superfície) i endocàrstiques (subterrànies). D: dolina. RU: relleu ruïniforme en dolomies. A: avenc. S: Sala. C: columna. ET: estalactita. EM: estalagmita. RI: riu subterrani. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 7 (pàg. 42) .....	31
<b>Figura 16:</b> Funcionament hidràulic d'un aqüífer .....	32
<b>Figura 17:</b> Formes exocàrstiques observables al Massís del Garraf. Calcàries amb perforacions cilindreïdes. A: Una gota d'aigua de pluja, carregada amb àcid carbònic dissol la calcita que forma la calcària i comença a formar-se la perforació. B: Successives gotes de pluja continuen el procés de dissolució-perforació. C: Les perforacions poden assolir fins mig metre de diàmetre, arriben a convergir de manera coalescent i finalment poden arribar a deixar trossos de roca .....	34
<b>Figura 18:</b> Formes exocàrstiques observables al Massís del Garraf. A i B: Formes acanalades formades en caure i circular l'aigua de pluja per sobre de la superfície de la roca calcària. C: Les acanaladures i les perforacions cilindreïdes conviuen en ser les dues cares d'un mateix procés (la dissolució de la calcita per l'aigua de pluja amb àcid carbònic). Simultàniament les diferents diàclasis i fractures en general es van engrandint en dissoldre's la calcària que hi ha a cada banda de la fractura. D: El resultat final és el rascler. Entre les esquerdes, forats i cavitats que s'han format, s'acumula la <i>terra rossa</i> . ....	35
<b>Figura 19:</b> Avenc situat a prop del Pla de Querol. Associat a una petita dolina amb poca acumulació de <i>terra rossa</i> , la qual, quan hi plou és arrossegada a l'interior de l'avenc .....	37
<b>Figura 20:</b> Surgències submarines que representen part de la descàrrega natural de l'aqüífer del Garraf. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 10 (pàg. 51) .....	40
<b>Figura 21:</b> Surgència submarina de La Falconera. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 11 (pàg. 52) .....	41
<b>Figura 22:</b> Nivell piezomètric general de l'aqüífer del Garraf. Es troba molt deprimat a causa de l'elevada transmissivitat de l'aqüífer. El gradient dirigit cap el mar indica que el flux subterrani té lloc en aquesta direcció (l'aigua subterrània sempre es mou de més alçada piezomètrica a menys alçada piezomètrica). Extret de Coromines, J. (1997) .....	42
<b>Figura 23:</b> Possible descàrrega natural de l'aqüífer del Garraf als aqüífers del Delta del Llobregat (aquífer lliure superior i semiconfinat inferior) en el seu extrem més occidental .....	42
<b>Figura 24:</b> La recàrrega anual d'un aqüífer té lloc en general a partir de la precipitació anual que cau sobre la zona de recàrrega (també es pot recarregar parcial o totalment per connexió hidràulica amb altres sistemes aqüífers) .....	43
<b>Figura 25:</b> Diagrames climàtics a les estacions meteorològiques de control situades al Massís del Garraf i a la seva perifèria. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 14 (pàg. 61) .....	44

<b>Figura 26:</b> El volum de recàrrega anual d'un aqüífer és l'aigua continguda a l'aqüífer entre la posició de mínim nivell piezomètric i el màxim nivell piezomètric .....	45
<b>Figura 27:</b> Què és la sobreexplotació d'un aqüífer i quines són les seves conseqüències .....	45
<b>Figura 28:</b> Què significa la gestió de l'aigua?.....	46
<b>Figura 29:</b> Què significa sostenibilitat aplicada a l'explotació dels recursos naturals?.....	47
<b>Figura 30:</b> Abocador de la Vall de Joan. En primer terme el rascler sobre les calcàries cretàiques. Al fons el delta del Llobregat. ....	48
<b>Figura 31:</b> Què és la contaminació de les aigües?.....	49
<b>Figura 32:</b> Característiques de la contaminació dels abocadors de residus sòlids urbans (RSU) .....	49
<b>Figura 33:</b> Zonació geoquímica del plomall de productes lixiviats procedents d'un abocador de residus sòlids urbans (RSU) .....	50
<b>Figura 34:</b> Contaminació de la surgència submarina de La Falconera amb els productes lixiviats procedents de l'abocador de RSU de la Vall de Joan (abocador de Barcelona i àrea metropolitana, color vermell).....	51

## **Introducció general a l'itinerari a realitzar**

Aquest dossier està pensat per què serveixi com a guia didàctica complementària de l'itinerari que es proposa. Davant de qualsevol dubte, no dubteu en posar-vos en contacte amb l'autor (correu electrònic: [josem@natura.geo.ub.es](mailto:josem@natura.geo.ub.es)).

El dossier s'estructura de manera que es descriuen les diferents parades que es realitzen al llarg de l'itinerari, els seus objectius, el que s'observa, els conceptes teòrics que s'expliquen i la relació amb altres conceptes i amb les parades que s'han fet i què es faran. Moltes de les explicacions venen recolzades amb una sèrie de panells que es van mostrant al llarg de les parades. Aquests panells es troben també dintre d'aquest dossier en forma de figures.

És convenient que l'hora de sortida (si se surt de Barcelona) no sigui més enllà de les 9 h del matí. Per altra banda, l'excursió acaba aproximadament cap a dos quarts de cinc o les cinc de la tarda. Cal portar calçat còmode, preferiblement botes de muntanya (no d'alta muntanya), entrepans i aigua. Es dina al camp, a la Masia de la Pleta en ple Massís del Garraf, cap a 2/4 de 2.

L'itinerari es divideix en dues parts:

- En primer lloc, la carretera de Gavà a Begues (**Figura 1**). Parades 1 a 5
- En segon lloc la carretera que va de Castelldefels al Pla de Querol passant per La Pleta, i la pista-camí que porta a la Vall de Joan des del Pla de Querol (**Figura 1**). Parades 6 a 14

## **Objectius de l'itinerari**

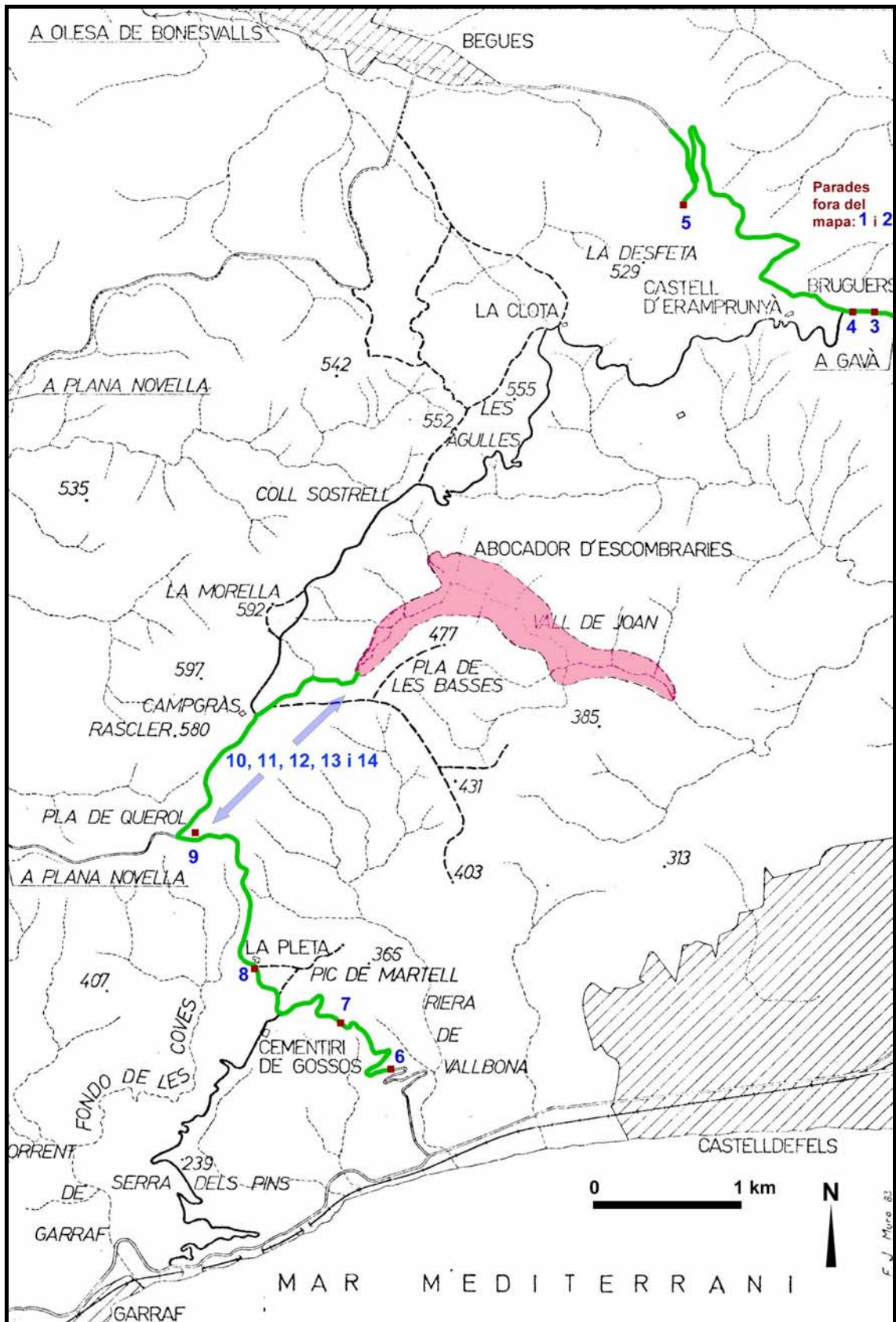
- **De Gavà a Begues (Figura 1). Parades 1 a 5**
  - Presentació de l'estructura general i els materials que conformen el Massís del Garraf.
  - Introduir el concepte d'aqüífer i d'altres relacionats i observar els materials que conformen el substrat impermeable de l'aqüífer del Garraf.
  - Tot introduint el concepte de carstificació, començar a observar els indicis que mostren que les roques calcàries que es troben per sobre del substrat impermeable estan carstificades.
  - Aprofitant que a la carretera hi ha algunes zones amb inestabilitat de talussos, es comenta les causes que les provoquen i les mesures que des del punt de vista geotècnic s'han adoptat solucionar el problema.
- **De Castelldefels a la Vall de Joan (Figura 1). Parades 6 a 14**
  - Observar les dolomies juràssiques, i les calcàries juràssiques i cretàtiques, i constatar el seu diferent grau de carstificació.
  - Comprendre les reaccions de dissolució dels carbonats i observar els diferents fets que denoten l'existència d'un exocarst i d'un endocarst en les calcàries mesozoiques del Garraf: rasclers, avencs, dolines, terra rossa i sediments càrstics.
  - Comprendre que els materials calcaris presents constitueixen un aqüífer. Això permet introduir els conceptes de zona de recàrrega, de circulació i de descàrrega (al delta del Llobregat i al mar a través de surgències submarines).

- Aprofitant que es passa per punts singulars, es poden abarcar altres objectius ambientals. Així, per la carretera que va a La Pleta i al Pla de Querol es passa a prop d'una pedrera activa i d'altres abandonades, per torres elèctriques d'alta tensió, i per les instal·lacions de telecomunicacions de l'aeroport del Prat. Això pot servir per introduir els conceptes d'impacte paisatgístic i d'altres tipus d'impactes relacionats amb aquestes explotacions i infraestructures
- També es passa per varies urbanitzacions (amb piscines, jardins, etc...), algunes d'elles en construcció, amb la qual cosa, i ja que l'escassetat d'aigua al massís és patent (l'aigua superficial és inexistent i la subterrània es troba molt profunda), cal fer-se la pregunta d'un surt l'aigua que necessiten. Això permet introduir el concepte de gestió de l'aigua, de sobreexplotació d'aqüífers i de sostenibilitat dels recursos naturals
- De la carretera que va des del Pla de Querol a les instal·lacions aeroportuàries surt un camí que porta a la capçalera de la Vall de Joan, on es troba l'abocador d'escombraries de Barcelona i la seva àrea metropolitana. Això permet introduir el concepte de contaminació d'aigües subterrànies, i permet també relacionar-lo amb el propi concepte de gestió de l'aigua i de residus
- Aquest últim punt, juntament amb totes les observacions realitzades al llarg de la jornada, permetrà comprendre com és que en l'actualitat a través de la surgència submarina de La Falconera, l'aigua que surt està contaminada

### **Com accedir a la carretera de Gavà a Begues: parades 1 a 5**

1. Autovia de Castelldefels: prendre sortida Viladecans-Gavà
2. Rotonda: prendre direcció Centres Emissors
3. Rotonda: prendre direcció Begues C-245
4. Cartell indicador Begues Castelldefels Tanatori
5. Rotonda: prendre direcció Begues (a la dreta)
6. Pont per sobre de l'autopista
7. Rotonda: prendre direcció Begues BV-2041 (recte)
8. Rotonda: prendre direcció Begues
9. Rotonda: seguir recte (no hi ha cartell indicador)
10. Rotonda: seguir recte
11. Rotonda: prendre direcció Begues (a l'esquerra)

A continuació, es descriuen les diferents parades a realitzar. Cal dir però, que la **parada 2**, encara que es descrigui, resulta molt perillosa per un grup nombrós d'alumnes (fora dels caps de setmana). La causa és el trànsit continu de camions que transporten roques des de les pedreres de la zona d'Olesa de Bonesvalls.



**Figura 1:** Itinerari a seguir amb indicació de les diferents parades que es poden realitzar. La primera i segona parades queden fora del mapa. Situació de l'abocador de Residus Sòlids Urbans (RSU) de la Vall de Joan (abocador de Barcelona i àrea metropolitana). Mapa de base: figura 18 (pàg. 101) de Panareda, J.M. (1986)

## **Parada 1**

### **Situació de la parada 1**

La parada se situa al Km 3 de la Carretera de Gavà a Begues (a l'esquerra hi ha un gran aparcament on es pot deixar perfectament l'autocar). Aquesta parada queda fora del mapa de la **Figura 1** relatiu a l'itinerari a seguir.

### **Objectius de la parada 1**

En ella es pot fa una primera presentació general de què és el que es veurà en les següents parades de la carretera a Begues. També es fa una introducció general al que és l'estructura i composició geològica general del Massís de Garraf. Tot i que la sortida no és de caràcter geològic, s'utilitza la geologia com a eina de treball. Així, la idea és que per definir les unitats hidrogeològiques, és necessari conèixer abans quines són les unitats geològiques presents.

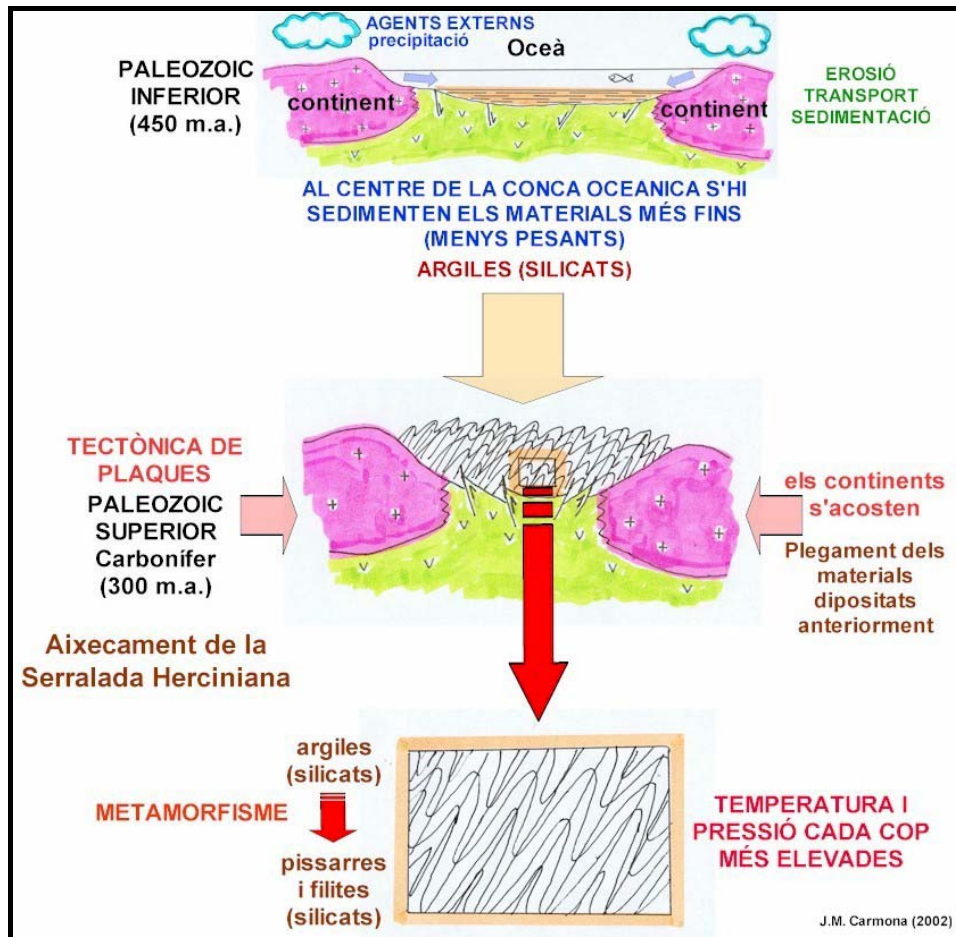
### **Presentació de les unitats geològiques del Massís del Garraf**

Una manera de definir quines són les unitats geològiques, quina és l'estructura i quin és el relleu actual del Massís del Garraf, és a través d'una breu ullada a la història geològica del massís des del Paleozoic fins l'actualitat:

- 1) Durant el Paleozoic inferior es dipositen al centre d'una conca oceànica els materials més fins (argiles) procedents de l'erosió del continent (**Figura 2**). Aquestes roques pertanyen als grup de les roques sedimentàries.
- 2) Durant el Paleozoic superior, la dinàmica interna del planeta fa què les plaques tectòniques que formen els continents en aquella època s'acostin entre sí donant lloc al plegament dels materials que s'havien dipositat a la conca
- 3) A les parts més profundes sotmeses a elevades pressions i temperatures a causa del gradient geotèrmic existent, es donen les condicions per què les argiles (que són minerals silicatats) es transformin per metamorfisme en uns altres minerals silicatats que són més estables a aquestes pressions i temperatures (es tracta entre d'altres minerals de les miques) donant lloc a unes noves roques: les pissarres i filites, que presenten una textura característica formant plans de foliació<sup>1</sup> al llarg del quals recristal·litzen minerals com ara la moscovita (mineral del grup de les miques). Aquestes roques pertanyen al grup de roques anomenades metamòrfiques.

---

<sup>1</sup> Es parla de foliació quan els minerals de recristal·lització metamòrfica es disposen segons plans paral·lels que són perpendiculars a la direcció de màxima compressió, per exemple durant la formació de d'una serralada.



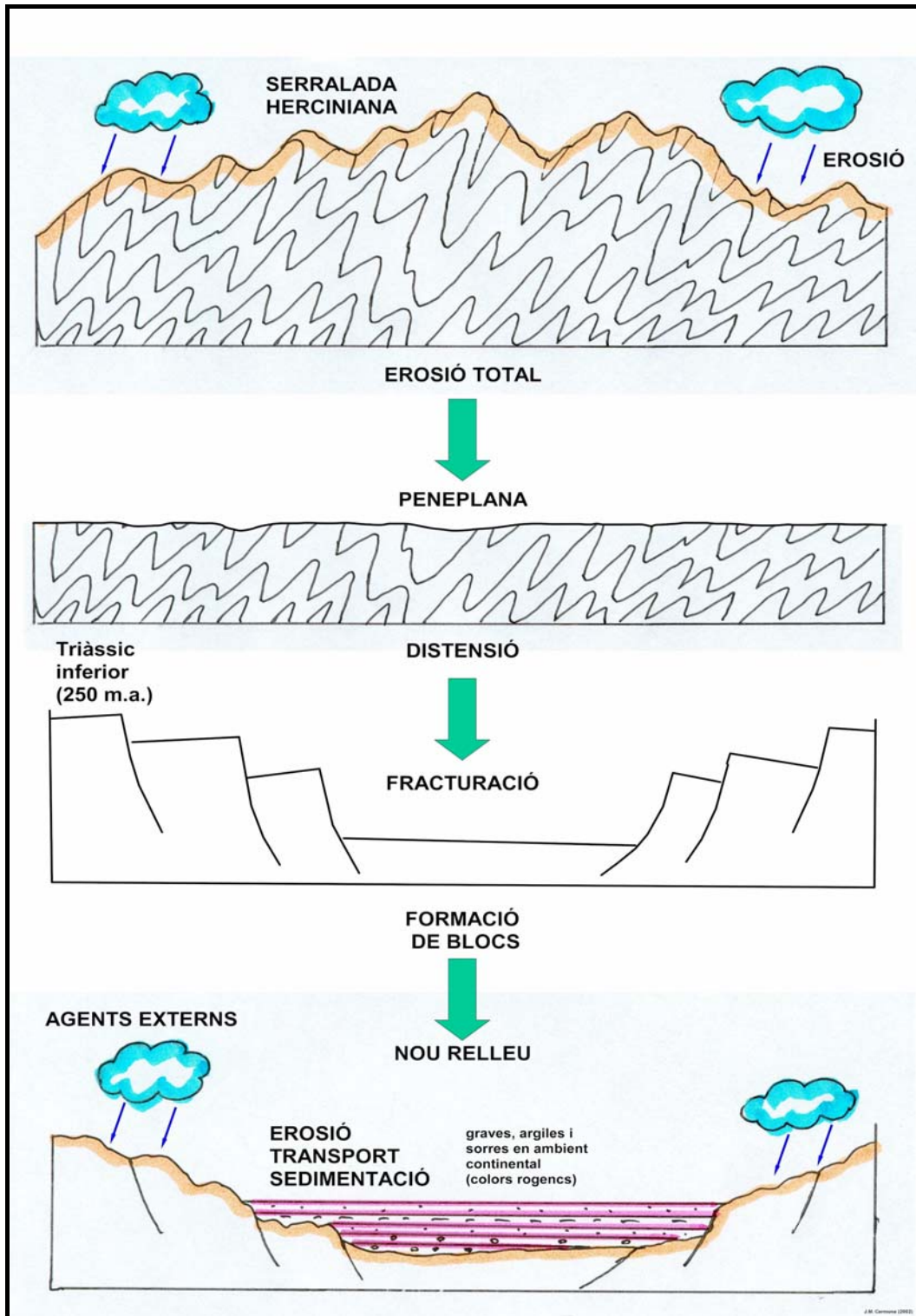
**Figura 2:** Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (1 de 4)

- 4) Conforme els continents continuen acostant-se el plegament continua i finalment s'aixeca la que coneixem sota el nom de Serralada Herciniana (**Figura 3**)
- 5) Un cop la Serralada Herciniana s'enlaira fora del mar, és immediatament sotmesa als agents externs i amb el temps és arrasada fins formar una peneplana
- 6) Durant el Triàssic inferior, tota la Serralada Herciniana, que va ser arrasada fins forma l'anterior peneplana, es fractura i s'estructura en una sèrie de blocs esglaonats resultat dels quals sorgeix un nou relleu (**Figura 3**)
- 7) Immediatament tornen a actuar els agents externs i es dipositen a les parts més deprimides els materials procedents de l'erosió de les parts més elevades. Es dipositen graves, sorres i argiles de colors rogencs (a causa de la presència d'òxids de Fe en estat oxidat) que indiquen que hom es troba sota un ambient continental (materials del Buntsandstein, veure **Figura 3** i **Figura 4**). Aquests materials es troben també a gran part d'Europa i el nord d'Àfrica.

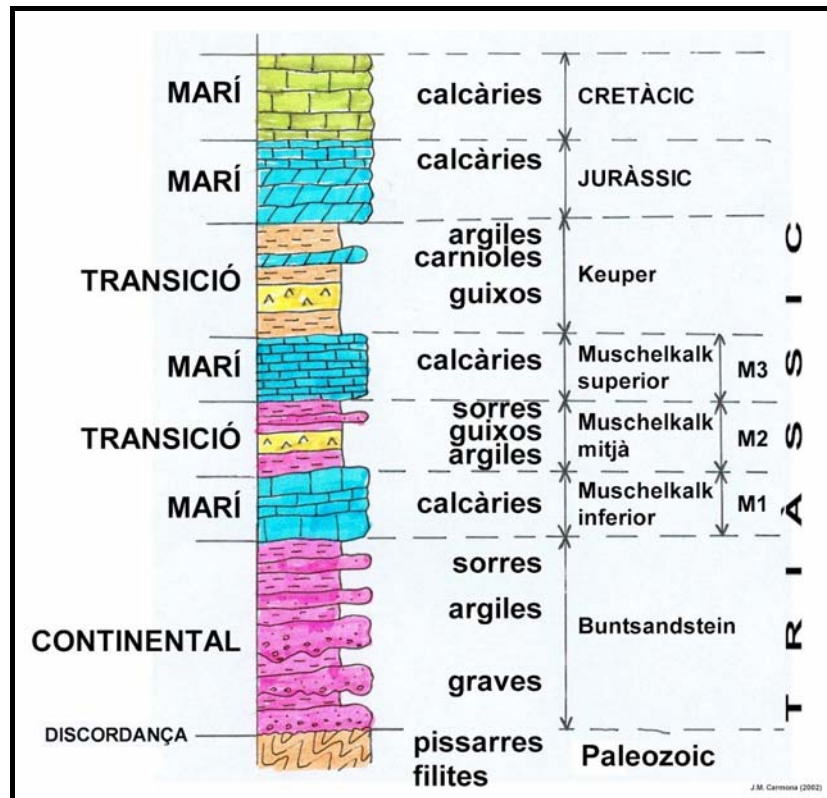
Les graves que es dipositen estan formades fonamentalment per còdols de quars ja que en el clima llavors regnant, la forta meteorització química dominant fa que només restin sense alterar els minerals més resistents a aquest tipus de meteorització, i el quars és un d'aquests minerals

- 8) Després del dipòsit dels materials rogencs anteriors sota un ambient continental, es produeix una invasió del mar i el consegüent dipòsit de materials d'origen marí (de colors grisencs i blanquinosos), es tracta de les calcàries del Muschelkalk inferior (**Figura 4**)

- 9) Posteriorment una nova retirada del mar dóna pas al dipòsit de materials continentals (sorres i argiles vermelles) de transició entre ambient marí i continental (materials evaporítics, en aquest cas guixos). Es tracta del Muschelkalk mitjà (Figura 4)



**Figura 3:** Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (2 de 4)



**Figura 4:** Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (3 de 4)

- 10) Després segueix una nova invasió del mar i el dipòsit de noves calcàries marines (Muschelkalk superior, **Figura 4**)
- 11) Una nova retirada del mar dóna pas al dipòsit de materials continentals i de transició (**Figura 4**): argiles, guixos i carnoles (que són un tipus de dolomies: roca calcària formada per dolomita, que és un carbonat de Ca i Mg). Aquests materials formen el Keuper (Triàssic superior)

Altres invasions del mar (alternants amb períodes de retirada) donen lloc durant el Juràssic i Cretàc a la creació de grans plataformes carbonatades que abasten més enllà del continent europeu. Es dipositen fonamentalment roques calcàries, que aquí al Massís del Garraf són dolomies a la major part del Juràssic (**Figura 4**). El Juràssic és constituït per un gran paquet de dolomies negro-grisenques, ben perceptibles en el paisatge per la seva tonalitat més fosca respecte a les calcàries blanques i grises del Cretàc. Aquestes dolomies solen ser fèdides i compactes, i donen lloc a relleus superficials d'aspecte ruïniforme.

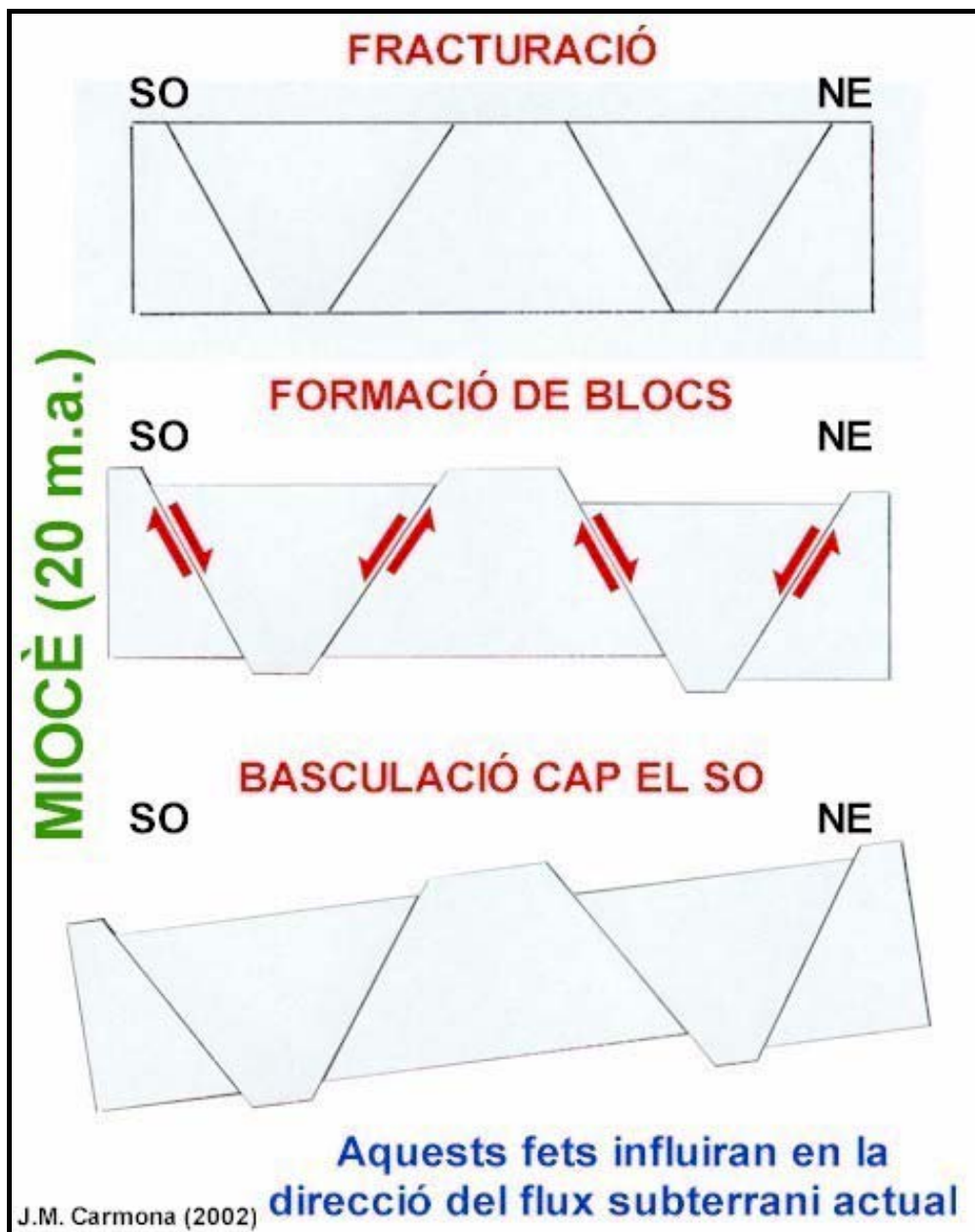
A nivell de mostra de mà les dolomies presenten una textura sacaroidea, és a dir amb un aspecte sucrós a causa dels cristalls de dolomita que la formen, i que són visibles a simple vista. Aquests cristalls s'han format per recristal·lització de calcàries. La circulació d'aigües riques en Mg a través de les calcàries va propiciar la substitució de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que formava les calcàries per la dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) que forma les dolomies.

A la base de les dolomies juràssiques i sobre els materials del Keuper hi ha nivells de bretxes (conglomerats de còdols angulars formats per calcàries i dolomies del Muschelkalk) de gruix variable, tot i que rarament sobrepassen els 10 m.

Al sostre del Juràssic hi ha calcàries molt ben laminades, grises i blanques formades en ambient mareal (tidalites, de l'anglès *tidal*) on hi havia una presència important d'algues cianofícies que possibilitaren l'acumulació de fang calcari.

El Cretàcic de Garraf es caracteritza per unes capes potents i extenses de calcàries de color gris clar o blanquinós, que afloren en bona part del massís. A la part superior hi ha nivells de margues grises i groguenques o blavoses.

- 12) Durant el Terciari inferior es produeixen, ja dintre de l'anomenat Cicle Alpí moviments compressius que donen lloc a la formació de plecs i encavalcaments de direcció catalànide (NE-SO)
- 13) Durant el Miocè, en què hi ha diversos períodes distensius, els Catalànids (dintre dels quals s'engloba el Massís del Garraf) es fracturen. El Massís del Garraf s'estructura en diversos blocs separats per falles (**Figura 5**)
- 14) Posteriorment tot el Massís és basculat cap el SO (**Figura 5**). Tots aquests fets influiran en la direcció del flux subterrani de les aigües al llarg de tota la història de l'aqüífer del Garraf

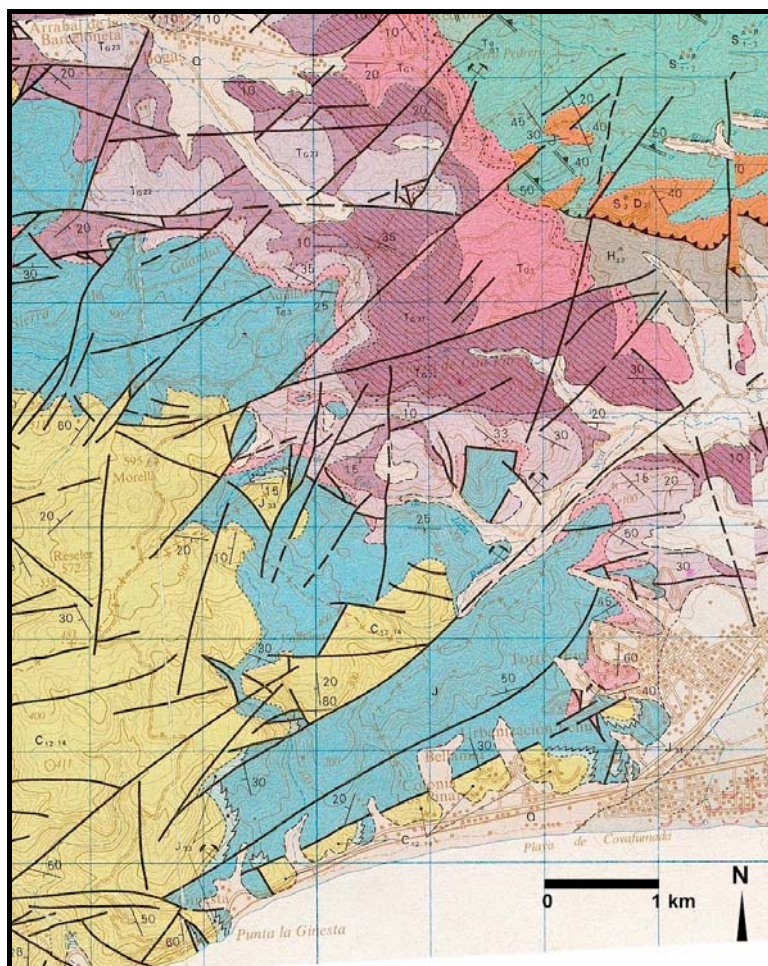


**Figura 5:** Breu història geològica del Massís del Garraf. Esquema molt simplificat (4 de 4)

15) Al llarg de la història geològica, a través de les sorres i graves rogenques del Triàssic han circulat aigües perquè llavors constituïen bons aqüífers (avui en diríem paleoaqüífers). Aquestes aigües interaccionaven químicament amb les sorres i graves de manera que incorporaven en el seu sí els elements dels minerals que anaven dissolvent. En un moment donat les substàncies que les aigües d'aquests aqüífers portaven precipitaren sobre les superfícies dels grans de sorra i còdols de grava. Els porus que hi havia entre gra i gra o entre còdol i còdol es van tancar i, conseqüentment, les sorres i graves es van cimentar amb els minerals que precipitaren.

Les sorres i graves per tant es van transformar en un altre tipus de roca: gresos i conglomerats respectivament. En el cas del Massís del Garraf aquestes roques són molt dures i formen els abruptes cingles rogencs que s'observen al sud de la **parada 1** a l'altra banda de la vall.

16) El resultat final queda indicat al mapa de la **Figura 6**, on es veu com els diferents materials que hi ha per sobre de la peneplana paleozoica, a causa del basculament general cap el SO, van aflorant successivament. Així, des del NE cap el SO: el Paleozoic, el Triàssic, el Juràssic i el Cretàcic. En aquest mapa s'observa també un fet important, es tracta de la xarxa de fracturació en la què en molts casos les falles tallen tots el materials de la sèrie i arriben a afectar al Paleozoic. Això significa que es tracta de falles molt profundes i importants



**Figura 6:** Mapa geològic (IGME, 1975). Verd fosc: pissarres i filites paleozoiques. Taronja: calcàries paleozoiques (Silurià-Devonià). Rosa: Buntsandstein. Colors lila i rosats: Muschelkalk. Blau: Juràssic. Verd clar: Cretàcic

## Elements a observar a la parada 1

- A la dreta de la carretera (en direcció Begues) hi afloren pissarres i filites paleozoiques
- Cal observar que aquestes pissarres i filites, a escala d'aflorament, es troben molt fracturades. És important remarcar que la fracturació a tots els nivells, fins i tot a escala de tot el massís, és una constant que anirà apareixent al llarg de les diferents parades que es faran. Es veurà com aquest fet ha contribuït d'una manera important en el control estructural del flux d'aigua subterrània tant en el passat com en l'actualitat
- També cal observar que a escala de mostra de mà es troben foliades i microfracturades (per això cal prendre amb el martell de geòleg una mostra de pissarres i filites al talús de la carretera)
- En aquestes condicions, aquestes roques són aquí fàcilment disgregables. Per aquest motiu, tot el talús de la carretera està protegit amb una malla (cast. *mallazo*) per evitar el seu colapse i la invasió de la carretera.
- També s'ha d'observar que aquesta roca avui dia ja no és argila, sinó que és una roca recristal·litzada en la qual, si no es troba molt alterada a causa de la meteorització, encara pot presentar, a la llum del Sol, la lluentor característica de la moscovita (mineral del grup de les miques) que hi ha formant els plans de foliació.
- Cap el sud-oest s'observa una vista panoràmica dels materials vermells del Buntsandstein<sup>2</sup>. Aquests materials cabussen cap el sud-oest. Ressalten els conglomerats, més durs, formant els cingles més abruptes
- Al fons, per sobre dels materials del Buntsandstein s'observen les calcàries del Muschelkalk que formen part de la resta del Triàssic. Aquestes calcàries també ressalten en el relleu a causa de la seva duresa
- L'aparcament se situa sobre un terraplè artificial sobre el talús del qual hi ha abocaments incontrolats de runa. Cal recordar que hi ha una Llei de la Generalitat que indica que la gestió de aquests tipus de residus és competència dels diferents ajuntaments, els quals han de disposar de llocs adequats on abocar aquests residus. El problema radica molt sovint en què molts ajuntaments fins i tot ignoren l'existència d'aquesta llei.

---

<sup>2</sup> No és visible la discordança pre-triàssica, però ha d'existir al llarg d'alguna línia situada en la vall que hi ha immediatament al sud.

## Parada 2

### Situació de la parada 2

Aquesta parada també queda fora del mapa de la **Figura 1** relatiu a l'itinerari a seguir. Se situa aproximadament a 0,5 Km després de la **Parada 1** (en direcció a Begues). A l'esquerra hi ha un estret aparcament on hi pot haver lloc per un autocar de no més de 32 places. Tanmateix cal anar amb compte perquè l'autocar pot barrar el pas a l'entrada de dues finques que hi ha.

### Objectius i precaucions a prendre a la parada 2

El principal objectiu d'aquesta parada és observar de prop els materials paleozoics, la seva composició, textura i estructura. També observar i comentar alguns aspectes relatius a la gestió de residus inerts (runa) i presentar un altre tipus de mesura a adoptar per evitar el colapse de materials quan es dona el problema de la inestabilitat de talussos.

**Atenció:** Aquesta parada és molt perillosa per dur-la a terme amb un grup nombrós d'alumnes a causa de l'intens trànsit de camions que transporten roques de les pedreres de la zona de Begues-Olesa de Bonesvalls (aquests camions reben la denominació de "*banyeres*"). S'aconsella per tant no realitzar-la amb un grup que necessiti un autocar. De totes maneres les explicacions i la major part d'observacions que es puguin fer, es poden realitzar també a les **parades 1 i 3**. La diferència és que en aquesta parada l'aflorament de materials paleozoics és de millor qualitat que a les **parades 1 i 2** i es pot observar millor la seva complicada estructura. De tota manera, fins i tot la **parada 1** presenta l'avantatge de què es veu una panoràmica dels materials triàsics.

### Elements a observar a la parada 2

- A la dreta de la carretera (en direcció Begues) hi ha una petita pedrera on afloren pissarres i filites paleozoiques on, tot i que es troben molt meteoritzades, s'aprecia molt bé el plegament dels materials, amb plecs que afecten fins i tot a la foliació.

Coordenades de la pedrera: UTM-X 31 414009E (41°18'45"N)

UTM-Y 45 74147N (1°58'18"E)

- A la pedrera, igual que a la **parada 1** hi ha restes de runa abocades al·legalment. El comentari que es pot fer és el mateix que es va fer a la parada anterior
- Uns 50 metres més endavant a l'esquerra de la carretera (en direcció Begues) hi ha un talús a la carretera en el què hi ha una capa paleozoica d'uns 50 cm de gruix, de filites més aviat sorrenques que descansa sobre pissarres i filites també paleozoiques. Aquesta capa cabussa cap a la carretera, amb la qual cosa hi ha un seriós perill d'esllavissada. La mesura que s'ha adoptar per evitar-ho és ancorar tota la capa al substrat de filites mitjançant una sèrie de claus de ferro que travessen la capa i queden ancorats uns metres dintre del substrat de filites.



**Figura 7:** Ancoratge d'una capa que estava esllavissant cap a la carretera Gavà-Begues.

## **Parada 3**

### **Situació de la parada 3**

Aquesta parada queda ja dintre del mapa de la **Figura 1**. L'autocar cal deixar-lo aparcats uns metres més endavant (on se situa la **parada 4**), a sota de l'ermita de Bruguers (a l'esquerra de la carretera en direcció a Begues). Abans de començar les explicacions es pot esmorzar al bar que hi ha sota l'ermita.

Un cop esmorzats, cal fer notar que els conglomerats vermells sobre els què es troba l'autocar i que es veuen a la carretera en direcció a Begues, també es troben per sota de la carretera (tant a la dreta com a l'esquerra d'aquesta) almenys algunes desenes de metres. Aquesta observació és important perquè es reprendrà tot seguit quan es facin les explicacions corresponents a aquesta **parada 3**.

Per anar pròpiament a la **parada 3**, és necessari refer uns 50 metres a peu la carretera en direcció a Gavà fins arribar al mirador del restaurant Solior. **Atenció:** és necessari circular per la vorera dreta de la carretera en fila índia a causa del perill que representa el trànsit de camions *banyera*. Per fer les explicacions cal recular uns 50 metres en direcció a Gavà i per la vorera dreta (en fila índia per evitar accidents). Quan s'arriba al mirador del restaurant es poden realitzar les explicacions allà mateix, tot i que per evitar la molèstia que representa el soroll dels camions i del trànsit en general, és millor entrar al pati del restaurant, on ja no hi ha aquest problema.

### **Objectius de la parada 3**

És necessari que qui fa les explicacions hagi pres abans amb el martell una mostra dels materials paleozoics que hi ha tot just a l'altra banda de la carretera.

Dos són els principals objectius d'aquesta parada:

En primer lloc, introduir alguns conceptes previs que seran necessaris per comprendre millor la marxa de l'excursió-itinerari. Això es fa amb l'ajut d'una sèrie de panells de suport teòric. Un cop entès això, aniran apareixent al llarg de les diferents parades de l'itinerari nous conceptes que seran convenientment explicats a través de més panells de recolzament teòric.

En segon lloc, un cop que a la **parada 1** i es van definir les unitats geològiques presents al Massís del Garraf, i després d'haver vist a les explicacions teòriques d'aquesta **parada 3** quines són les característiques que han de complir els materials geològics per constituir aqüífers, es defineixen les unitats hidrogeològiques del sistema aqüífer del Garraf o aqüífer del Garraf. També es defineixen quins materials no són aqüífer i quins materials constitueixen la base impermeable de l'aqüífer.

## Conceptes previs

**Formació geològica (s.l.):** Es podria definir com qualsevol material geològic (es a dir, qualsevol roca consolidada o no) que, o bé aflora a la superfície o bé es troba al subsòl.

**Porositat:** La porositat d'una roca és la relació que hi ha entre els espais buits (o porus) respecte el volum total de roca. Es pot expressar en tant per cent o en tant per u (**Figura 9**). Pot ser primària si és original de la roca (per exemple en una sorra o grava) o secundària si és adquirida amb posterioritat (per exemple per fracturació o, en el cas de les roques carbonatades (calcàries i dolomies) per carstificació (els porus són grans canals formats per la dissolució dels carbonats que formen la roca).

**Permeabilitat o conductivitat hidràulica:** És la mesura de la capacitat d'una roca per deixar circular un fluid. Però per això és necessari que els porus que formen la porositat es trobin interconnectats (**Figura 10**). Així, una sorra grollera té normalment una elevada porositat i una elevada permeabilitat. Una argila té una elevada porositat, però la seva permeabilitat és molt reduïda perquè els seus porus són tant petits que l'aigua flueix al seu través amb molta dificultat. Les roques carbonatades (calcàries i dolomies) presenten normalment baixa porositat, però eventualment poden tenir una elevada permeabilitat a causa de la porositat creada per la carstificació).

**Què és un aqüífer?:** És una formació geològica que pot emmagatzemar aigua i és capaç de transmetre-la (**Figura 8**), és a dir, la deixa circular al seu través. L'aigua l'emmagatzema en els seus porus (actua la porositat, **Figura 9**). L'aigua circula perquè aquests porus estan interconnectats (actua la permeabilitat, **Figura 10**).

En un aqüífer la circulació ha de ser suficientment ràpida com per poder subministrar cabals raonables i poder així ser utilitzada com a font d'aigua a través de les captacions artificials existents (pous o galeries).

Per altra banda, no són aqüífers en sentit estricte, les formacions geològiques poroses i permeables que no poden descarregar l'aigua que contenen perquè es troben totalment confinades per materials impermeables que les aïllen completament (bossa d'aigua sense sortida ni entrada). Tampoc no es consideren aqüífers aquelles formacions geològiques poroses i permeables l'aigua de les quals no pot ser descarregada perquè en la direcció i sentit del flux, la formació geològica es troba confinada per materials impermeables (és dir, la formació saturada acaba en cul de sac).



Figura 8: Una formació geològica ha de presentar aquestes dues propietats per ser aqüífer

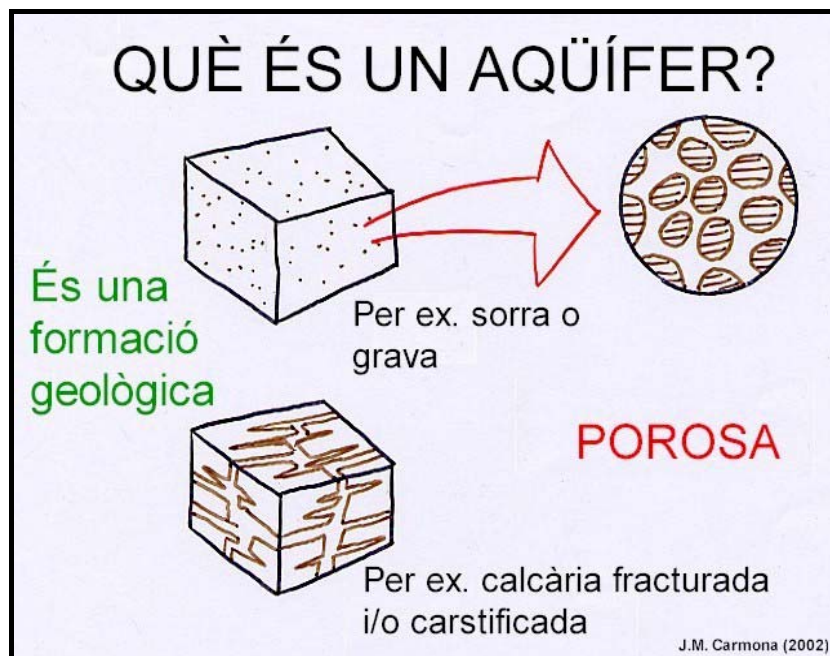
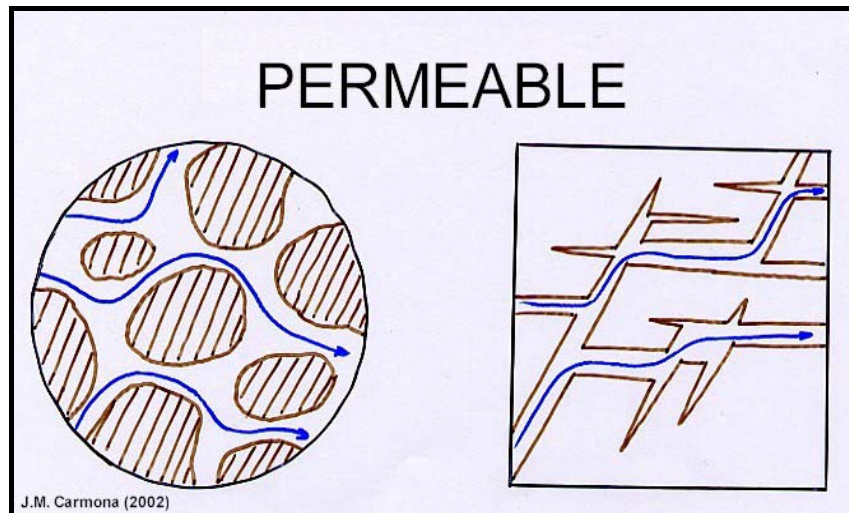


Figura 9: Un aqüífer és una formació geològica que emmagatzema aigua perquè és una roca porosa (per això també s'anomena embassament subterrani)



**Figura 10:** En un aqüífer els porus han d'estar interconnectats perquè l'aigua pugui circular lliurement (permeabilitat)

**Què és un aqüífer lliure?:** En els aqüífers lliures l'aigua està en contacte directe amb l'atmosfera a través dels porus del terreny que hi ha per sobre de l'aqüífer. En aquests aqüífers, el nivell a partir del qual el terreny està saturat amb aigua es coneix amb el nom de nivell freàtic.

**Què és un aqüífer confinat?:** Els aqüífers **confinats** o **captius** estan aïllats per materials subjacents i suprajacents poc o gens permeables. Aquests materials aïllants s'anomenen **aqüífugs** quan són absolutament impermeables (per ex. un granit no alterat) o **aqüicluds** quan estan saturats amb aigua però pràcticament no la poden transmetre per ser extremadament poc permeables (per ex. argiles).

**Què és un aqüífer semiconfinat?:** Els aqüífers **semiconfinats** o **semicaptius** estan aïllats per materials subjacents i/o suprajacents de baixa permeabilitat. Aquests materials aïllants s'anomenen **aqüitards** quan estan saturats amb aigua i la transmeten lentament (per ex. llims).

**Aqüífers en medi granular o porós:** Els medis granulars (sorres i graves, o gresos i conglomerats poc cimentats) són les formacions geològiques que presenten millors condicions per emmagatzemar i transmetre aigua. Constitueixen per tant bons aqüífers.

**Aqüífers en medis fissurats:** Quan els materials cristal·lins (ignis o metamòrfics) presenten porositat i permeabilitat, aquestes són generalment de tipus secundari adquirides per fissuració i/o alteració meteòrica. Dins d'aquest grup d'aqüífers caldria incloure també els materials detrítics molt cimentats (com ara els gresos i conglomerats del Buntsandstein del Massís del Garraf). En general constitueixen aqüífers pobres.

**Els aqüífers en medis carstificats i/o fissurats-carstificats:** Les roques carbonàtiques tampoc presenten en general porositat primària; però quan es troben fissurades, poden esdevenir importants aqüífers com a conseqüència del procés conegut com carstificació (veure **Parada 9 a la pàg. 26**).

### Elements a observar a la parada 3

- Observar la textura de les pissarres i filites d'aquesta parada. Pot ser són de vegades una mica més sorrenques que les de les **parades 1 i 2**, però observant-les pot comprovar-se fàcilment que es tracta de materials amb nul·la porositat i permeabilitat primàries. Sí que presenten porositat i permeabilitat secundàries per fracturació o per meteorització, però en conjunt aquestes són molt poc importants pel que fa a la conducció d'aigua.

La primera conclusió d'aquesta observació és que aquestes pissarres i filites no constitueixen un aqüífer sinó que es tracta de materials aqüífugs (veure **Conceptes previs a la pàg. 14**). Concretament formen la part inferior del substrat o base impermeable de l'aqüífer del Garraf. La seva inclinació cap el SO condiciona el flux subterrani en aquesta direcció.

- És hora de reprendre l'observació realitzada a l'ermita de Bruguers en relació al fet que els conglomerats vermells sobre els què es trobava l'autocar també continuaven per sota de la carretera. Aquí a la **parada 3**, tot i trobar-se a la mateixa alçada topogràfica que el lloc on està aparcant l'autocar, no hi afloren conglomerats sinó pissarres i filites del Paleozoic.

L'explicació només pot ser deguda a l'existència d'una falla, probablement de tipus normal que, passant entre la carretera i la vall que es veu davant de la **parada 3**, posa en contacte mecànic els materials paleozoics amb el triàssics. La falla per tant ha actuat fent pujar tots els materials paleozoics de la carretera respecte els del Triàssic que hi ha davant del mirador.

Al llarg de l'itinerari es podrà deduir l'existència<sup>3</sup> de més falles. Totes elles són importants perquè han estructurat en blocs tot el Massís de Garraf (veure **Figura 5 i Figura 6**) i en conjunt han contribuït, quan han travessat els materials calcaris, en el control del flux subterrani.

- Observar novament els materials rogencs de la base del Triàssic (els conglomerats, gresos i argiles del Buntsandstein) davant del mirador del restaurant
- Observar també cap a l'est la gran plana de materials quaternaris que formen el delta del Llobregat. Aquí pot ser és el moment de comentar l'estructura interna del delta, tot indicant que està format per dos aqüífers: un de superficial que és de tipus lliure, i un de profund de tipus semiconfinat. Ambdós aqüífers estan separat per un paquet de llims que formen un aqüítard.

És important explicar això perquè en una parada posterior (**Situació i elements a observar a la parada 13 pàg. 39**) es farà referència a la possible connexió que hi pot haver entre aquests dos aqüífers i el del Garraf.

<sup>3</sup> Val a dir que normalment les falles d'una certa importància no són visibles sinó que s'han de deduir a partir de la interrelació que hi ha entre els diferents materials que es posen en contacte. Molt sovint el fet que no es puguin veure directament és a causa de què, en tractar-se de zones de debilitat, solen ser els llocs per on s'encaixen els cursos fluvials. Per la mateixa raó, també són zones que, en trobar-se molt alterades, la vegetació les oculta a la vista.

## **Parada 4**

### **Situació i objectius de la parada 4**

Aquesta parada (**Figura 1**) està situada precisament on es troba aparcant l'autocar. De fet es tracta d'una parada complementària de l'anterior, i el seu objectiu és simplement observar la textura i naturalesa dels còdols que formen els conglomerats del Buntsandstein.

A partir de l'observació d'aquests conglomerats i amb els coneixements teòrics explicats a la parada anterior s'ha d'arribar a la conclusió que aquests materials no constitueixen un aqüífer sinó que més aviat formen la part superior del substrat impermeable de l'aqüífer del Garraf.

### **Elements a observar a la parada 4**

- En els conglomerats dominen els còdols de quars
- Entre els còdols hi ha una matriu sorrenca de quars, i entre els grans hi ha precipitat sílice que, a manera de ciment, ha tancat tots el porus de la grava original

### **Elements a observar entre les parades 4 i 5**

Després de muntar a l'autocar, anant en direcció a Begues cap a la **parada 5**, cal observar des de l'autocar els següents elements:

- El talús de la carretera està protegit per una malla de filferro similar a la que hi havia a la **parada 1**, tot i que aquí el material inestable són blocs de diversos tamanys formats per conglomerats del Buntsandstein.
- Conforme la carretera ascendeix, es van tallant nivells estratigràfics del Triàssic inferior cada cop més joves. Els conglomerats de l'ermita de Bruguers van passant progressivament a gresos alternants amb conglomerats i a gresos alternants amb argiles.
- Hi ha un moment en què cal estar atent al talús de la carretera (pot ser val la pena dir al conductor de l'autocar que redueixi un xic la marxa) perquè a partir d'un punt a prop d'un revolt a l'esquerra tornen a aflorar novament les pissarres i filites paleozoiques. Uns metres més endavant tornen a aflorar els conglomerats. Es dedueix per tant l'existència d'una altra falla, probablement també de tipus normal, i que de nou ha fet pujar tot un bloc de materials paleozoics respecte els triàssics.
- Després de diversos revolts (alguns d'ells molt tancats, encara que suficientment amples com per què l'autocar pugui girar amb comoditat), s'observa des de l'autocar com es passa dels materials del Buntsandstein a les calcàries blanques del Muschelkalk inferior. Aquestes calcàries es disposen de manera concordant amb els materials inferiors, per la qual cosa també cabussen cap el SO

## **Parada 5**

### **Situació de la parada 5**

Un cop s'ha entrat en el terme municipal de Begues, i després de dos revolts molt tancats s'arriba a un altre revolt (cap a la dreta) enmig del qual hi ha un desviament a l'esquerra amb un cartell de senyalització que indica "Camp de Tir" i "Les Planes". És necessari prendre aquesta desviació (**Figura 1**), però resulta molt perillós fer-ho aquí ja que no hi ha visibilitat dels vehicles que baixen des de Begues. És aconsellable continuar la ruta fins a l'entrada de Begues (que es troba a escassos 300 m) i canviar de sentit a la benzina que hi ha a l'entrada de la població.

Un cop a la carretera que va al camp de tir, s'ha de continuar uns 80 m fins l'entrada a la finca Les Planes (a l'entrada hi ha un arc de pedra i un pou). Allà es canvia de sentit i s'aparca l'autocar.

Les coordenades d'aquest punt són:

UTM-X 31 412098E (41°19'16"N)

UTM-Y 45 75134N (1°56'58"E)

### **Objectius de la parada 5**

Començar a veure els materials que formen les unitats hidrogeològiques de l'aqüífer del Garraf. Així en aquesta parada es veuen les calcàries del Muschelkalk inferior. Aquestes calcàries inicialment no podien constituir un aqüífer, ja que es tractava de roques que no eren ni poroses ni permeables. Avui dia en formen la unitat hidrogeològica més inferior de l'aqüífer del Garraf. A la parada s'analitza el motiu pel qual avui dia formen part de l'aqüífer.

### **Elements a observar a la parada 5**

- En baixar de l'autocar, s'observa a l'est un turó format per gresos del Buntsandstein. A la vorera occidental de la carretera (al costat de l'entrada a la finca Les Planes), també sembla que hi ha aquests gresos (tot i que no acaba d'apreciar-se de forma clara si es tracta o no d'un aflorament *in situ*). A pocs metres a la dreta, seguint la carretera en direcció nord hi ha una petita vall d'un torrent ple de matolls, i immediatament afloren les calcàries. Aquestes calcàries, essent estratigràficament materials més moderns que els gresos, es troben a la mateixa alçada topogràfica.

L'explicació novament es troba en una altra falla de tipus normal que fa aixecar el bloc de gresos (així com els conglomerats i filites que es troben per sota) respecte el de calcàries. Aquesta falla hauria estat aprofitada per l'erosió per encaixar la petita vall acabada d'esmentar.

- Pedrera de calcàries blanco-grisenques: calcàries amb plans de discontinuïtat que son plans d'estratificació cabussants cap el SO i diàclisis.
- Prendre una mostra de la calcària amb el martell o bé prendre-la dels còdols d'àrid<sup>4</sup> que hi ha al terra ja que al cap i a la fi procedeixen amb tota probabilitat de pedreres de la mateixa zona (ja que portar aquests àrids des de fora de la regió no resulta normalment econòmic).

---

<sup>4</sup> Material procedent d'una pedrera i molt a diferents tamanys per utilitzar-los per exemple com a base a les carreteres asfaltades.

- Mostrar una fractura fresca d'aquestes calcàries i observar que es tracta de calcàries de textura micrítica (formada a partir de fang calcari i per tant de gra extremadament fi). Aquestes roques són roques compactes, totalment consolidades i que no presenten cap tipus de porositat i permeabilitat primàries. No poden per tant constituir a priori un aqüífer, ja que no poden ni emmagatzemar ni transmetre aigua<sup>5</sup>.
- Un cop constatat això observar que a la dreta de la pedrera hi ha una paret llisa (es tracta d'un pla de diàclasi) on es veuen fissures engrandides i obertes per dissolució de la roca calcària. Aquí, ja cal començar a explicar una mica el procés de la dissolució de la calcita i la dolomita, tot i que després a la **Parada 9** pàg. **26**) s'explicarà amb molt més detall



**Figura 11:** Superfície d'una diàclasi on s'observen fissures engrandides i obertes per dissolució de la roca calcària.

- Alguns dels còdols d'àrid que hi ha al terra no són de calcària sinó de dolomia. És interessant trencar-los per observar en fractura fresca el seu aspecte i la textura sacaroidea característica de la dolomia, ja que a la **parada 6** es tornaran a veure dolomies
- Observar una nova panoràmica de la resta del delta del Llobregat

Amb aquesta parada finalitza el recorregut al llarg de la carretera de Gavà a Begues, on essencialment s'ha estudiat el que constitueix la base de l'aqüífer del Garraf i el seu substrat impermeable. Tot seguit cal tornar a Gavà per anar a la carretera de la Pleta (on es troba un centre d'interpretació del Parc Natural del Garraf), al llarg de la qual s'estudia la resta de l'aqüífer, essencialment la part superior formada per calcàries i dolomies de la resta del Mesozoic.

<sup>5</sup> Val a dir però, que de vegades les calcàries sí que poden presentar porositat i permeabilitat primàries. Tanmateix no és el cas del Massís del Garraf.

## **Com accedir a la carretera de La Pleta: parades 6 a 14**

1. Prendre l'autovia de Castelldefels (C-31, color vermell) i seguir per la seva connexió amb l'autopista C-32 (color blau) i sortir a la darrera sortida que hi ha abans d'entrar als túnels del Garraf (aquesta sortida està indicada amb el cartell: C-31 Sitges, Barcelona, Port Ginestà-Garraf)
2. Un cop novament a la C-31 es troba immediatament el cartell indicador de Les Botigues de Sitges. Cal continuar, i abans d'entrar al primer revolt de la carretera de les costes del Garraf, hi ha un desviament a la dreta cap al Parc Natural del Garraf (indicat amb un cartell de color marró)
3. Entrar a la urbanització Rat Penat i seguir en tot moment els cartells que indiquen l'accés al Parc Natural del Garraf

### **Parada 6**

#### **Situació de la parada 6**

La parada es troba en un petit replà que hi ha a la carretera de pujada a masia de La Pleta (**Figura 1**). En aquest replà es pot aparcar l'autocar, tot i que no convé estars'hi molt de temps per no entorpir el trànsit (encara que tampoc és molt elevada la freqüència de vehicles).

Des de la parada hi ha cap a l'est una vista del mar (amb el Port Ginestà en primer terme i vàries urbanitzacions, entre elles la urbanització Rat Penat). A la dreta hi ha també una pedrera en explotació (Pedrera La Ginesta) i a l'esquerra una altra pedrera. Aquesta última pedrera es troba abandonada i és la més antiga del Massís (Pedrera Vallbona).

#### **Objectius de la parada 6**

L'objectiu de la parada és doble. Per una banda realitzar, a les dolomies que hi afloren, observacions que demostrin que la dissolució de les roques calcàries en el Massís del Garraf ha tingut lloc durant diversos períodes en el passat. Per altra banda hi ha un objectiu mediambiental:

- Aprofitant la presència de varies urbanitzacions davant de la parada, obrir el debat sobre la necessitat d'arribar a una gestió correcta de les aigües
- També aprofitant la presència d'antigues pedreres i de pedreres en funcionament, s'introdueix el tema de l'impacte relacionat amb aquest tipus d'explotació. Cal recordar que al Garraf són nombroses les pedreres en explotació i abandonades
- Com que també passen línies elèctriques, es comenta el seu impacte paisatgístic

#### **Elements a observar a la parada 6**

- Cap el nord-est hi ha una vista del delta del Llobregat que pot donar peu a comentar l'existència dels aiguamolls que hi ha: antics braços del riu abandonats i relació amb un nivell freàtic molt superficial de l'aqüífer superior del delta (**Parada 3 pàg. 13 i Situació i elements a observar a la parada 13 pàg. 39**).

- Al talús de la carretera i de fet durant tot el camí de pujada des de la urbanització Rat Penat, les roques aflorants són dolomies grises i negres del Juràssic. Tot i que són menys solubles que les calcàries, es poden observar indicis que mostren que al llarg de la seva història geològica (després de la seva transformació en dolomies a partir d'una calcària original) han passat per diverses etapes de carstificació.

Així es poden observar: antigues cavitats plenes de sediment càrstic (*terra rossa*: argiles procedents de la descalcificació i dissolució de les roques calcàries situades per sobre), bretxes càrstiques de colapse, esquerdes plenes de sediment i de varies etapes de precipitació de calcita. Aquesta calcita precipita quan les aigües bicarbonatades càlciques perden per qualsevol circumstància  $\text{CO}_2$  (en desprendre's  $\text{CO}_2$ , l'ió bicarbonat passa a ió carbonat, que precipita en forma de calcita).

Que totes aquestes estructures estiguin avui dia totalment taponades per sediment o per espeleotemes de calcita indica que estem davant d'un vestigi del passat en que ja hi havia un carst en funcionament

- Davant de la parada hi ha varies urbanitzacions en construcció. És el moment de treure el tema de la gestió de les aigües i posar en qüestió alguns dels aspectes negatius que en l'actualitat s'estan fent en relació a la gestió de l'aigua. Cal fer-se al final la pregunta de si el model de desenvolupament que hem adoptat és sostenible (a l'apartat **Situació i elements a observar a la parada 13**, pàg. 39, es tracta amb molt més detall aquest concepte i el de gestió de l'aigua).

Es pot plantejar la qüestió per exemple de si hi ha aigua suficient pels camps de golf al clima mediterrani, si és sostenible al Massís de Garraf la construcció de noves urbanitzacions, ja que l'aigua és escassa al Massís (el nivell freàtic de l'aqüífer es troba molt profund). També es pot relacionar tot això els plans hidrològics de conca i el pla hidrològic nacional, etc.

- A la pedrera que hi ha a la dreta, mirant cap al mar (Pedrera La Ginesta), es pot observar el polsim que aixeca l'explotació, així com els sorolls dels martells pneumàtics i l'impacte paisatgístic que suposa la pròpia pedrera (recordi's que aquestes pedreres estan a prop dels límits d'un Parc Natural). Cal recordar però, que fins i tot dintre de la categoria de Parcs Naturals són permeses les activitats econòmiques humanes que es duen a terme abans de la declaració de parc.
- Això obre la reflexió de la necessitat que hi ha de què continuïn existint aquest tipus d'explotacions, ja que són imprescindibles pel desenvolupament d'un país (material de construcció, àrids, etc.). S'ha de tenir en compte que normalment no és econòmicament rentable transportar fins el punt de consum aquests materials des d'una distància superior a poques desenes de quilòmetres.

Tanmateix cal fer els corresponents estudis d'impacte ambiental previs a l'inici dels treballs (per exemple amb l'ajut de models digitals del terreny per provocar el menor impacte paisatgístic possible, etc.) i el corresponent pla de restauració de l'espai quan la seva vida activa finalitzi (dipòsit de fiances econòmiques que s'han de reservar per assegurar la restauració, etc.).

- A la pedrera Vallbona, situada a l'esquerra de la panoràmica es pot observar també l'impacte paisatgístic i es pot abordar el tema de la restauració d'aquest tipus d'espai. També s'ha de dir que, en tractar-se d'una pedrera abandonada des de fa molts anys, sembla aparentment que estigui quelcom més integrada en el paisatge que l'altra. Tot i així cal destacar la dificultat que hi ha en qualsevol pla de restauració de pedreres de la persistència de plantes a causa de la manca de sòl.
- Les línies elèctriques que hi ha també són susceptibles d'una reflexió similar a les anteriors, ja que la societat cada cop demanda més energia

## Parada 7

### Situació de la parada 7

Continuant per la carretera fins l'aparcament del Puig del Martell (**Figura 1**), s'observa des de l'autocar com, poc a poc conforme es va pujant per la sèrie estratigràfica, van desapareixent les dolomies grises i s'arriba a calcàries laminades també del Juràssic (veure a la **Parada 1** l'apartat corresponent a la **Presentació de les unitats geològiques del Massís del Garraf** a la pàg. **4**).

Coordenades de la parada:

UTM-X 31 409759E (41°16'14"N)

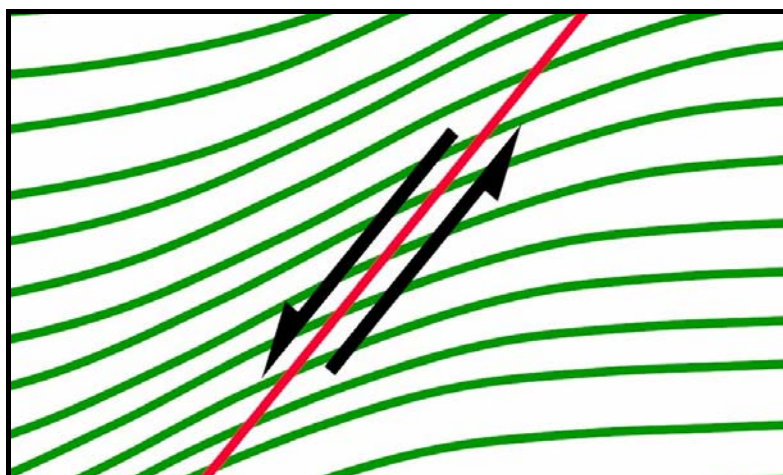
UTM-Y 45 69556N (1°55'17"E)

### Objectius de la parada 7

- Observar y comparar les calcàries que aquí afloren amb les dolomies de la parada anterior
- Observar la relació que hi ha entre l'estructura tectònica i la carstificació
- Reflexionar sobre el fet de perquè no s'observen cursos fluvials continus

### Elements a observar a la parada 7

- Al vessant meridional del torrent que hi ha immediatament al sud, s'hi observa un paisatge amb una clara estratificació cap el sud de les calcàries (**Figura 13**). Observi's el fort cabussament de 45° cap el SO tant d'aquestes roques com de les que hi ha al talús de la carretera.
- Aquest cabussament contrasta amb el suau basculament de tot el massís en la mateixa direcció. El causant d'això és la pròpia presència de les falles que hi ha, que deformen les capes en apropar-se a la zona de fractura



**Figura 12:** En la proximitat d'una falla, les capes poden deformar-se.

- Al talús de la carretera hi afloren calcàries molt ben laminades. Aquestes roques són calcàries micrítiques (veure **Elements a observar a la parada 5**, pàg. 19), del sostre del Juràssic, s'anomenen tidalites (de l'anglès *tide* = marea) perquè s'han format en un ambient mareal en el què hi havia algues cianofícies que atrapaven fang calcari entre els seus filaments.
- Compari's la textura d'aquestes roques amb la de les dolomies de la parada anterior
- Observar també com a la part dreta del talús, aquestes roques es troben força triturades formant un paquet d'alguns metres en els que el que hi ha són blocs angulosos de la mateixa calcària, de diverses mines i tamanys. Semblen definir una zona fracturada per la que hi passaria una falla més o menys important.
- Aquests blocs constitueixen el que s'anomena una bretxa de falla. Com que és una zona triturada, la roca micrítica ( inicialment ni porosa ni permeable) ha adquirit de manera secundària una porositat i permeabilitat gràcies a les quals les aigües de pluja infiltrades han circulat donant lloc a dos fenòmens observables, tots dos conseqüència del fenomen general de la carstificació que afecta al massís calcari:
  - La colmatació amb sediment argilós de descalcificació (*terra rossa*), residu no soluble procedent de dissolució les calcàries
  - La formació de crostes de precipitació de cristalls de calcita en determinades superfícies. La calcita indica que les aigües que hi han circulat, procedents de la superfície, eren bicarbonatades càlciques
- Per altra banda, en aquest mateix vessant meridional del torrent anterior, s'observa com els torrents secundaris que el tallen segueixen clarament fractures i diàclasis (**Figura 13**), que actuen com a zones de debilitat per a l'erosió i la dissolució per carstificació.
- Tots aquests fets venen a mostrar que:
  - La carstificació produeix també porositat i permeabilitat secundària en aixamplar les diàclasis i fractures en general
  - Conseqüentment la infiltració de l'aigua de pluja pot ser molt ràpida, la qual cosa es veu corroborada en observar el fons del torrent. No hi ha aigua corrent, sinó únicament un tarter de blocs de calcària procedents de la capçalera i dels vessants. Hi ha una absència total de sediment argilós de descalcificació.Això es pot interpretar a partir d'una ràpida infiltració en moments de pluja de pràcticament tota l'aigua, sense que hi doni temps a formar-se escolament superficial (a pesar del fort pendent que hi ha).



**Figura 13:** La dissolució de les roques calcàries és més important a les zones de diàclasis o fractures en general (línies vermelles). S'observa també l'estratificació (línies verdes).

## **Parada 8**

### **Situació i objectius de la parada 8**

De fet es tracta d'una parada tècnica ja que només és per dinar. S'accedeix a ella continuant amb l'autocar carretera amunt fins arribar a la Masia de La Pleta (**Figura 1**). Allà, al pàrking, hi ha espai suficient per aparcar l'autocar. El Parc Natural del Garraf es troba gestionat per la Diputació de Barcelona, i és a la Masia de La Pleta on s'ubica el centre d'interpretació del parc i on es pot trobar informació interessant sobre el parc.

A la Pleta hi ha lavabos, però no hi ha bar, raó per la qual cal portar de casa els entrepans i la beguda, ja que l'aigua disponible no és potabilitzada. Es dina fora del recinte.

Per arribar aquí des de l'última parada ha estat necessari que autocar pugés per les pronunciades rampes de la carrera el desnivell que hi ha fins arribar a la part superior del massís, on el relleu ja no és tan abrupte sinó que és més aviat suau format per petits turons de calcàries cretàiques blanquinoses.

## **Parada 9**

### **Situació de la parada 9**

Un cop dinats cal continuar per la carretera en direcció a La Plana Novella fins el pàrking del Pla de Querol. L'autocar s'aparca davant de la de la cruïlla amb la carretera asfaltada que porta a les instal·lacions de telecomunicacions de l'aeroport del Prat (**Figura 1**). Cal deixar l'autocar, travessar la carretera que porta a la Novella i tot just pujar fins els primers afloraments de calcàries (el talús que s'ha de salvar no té més de 50 cm). Es tracta de calcàries blanques cretàiques, un cop aquí cal observar el paisatge i l'aspecte que presenten les roques.

### **Objectius de la parada 9**

El carst al Garraf ocupa una extensió d'uns 600 km<sup>2</sup>, s'estén des del nivell del mar fins a 592 m (La Morella). Limita al N amb la depressió del Penedès, a l'E amb la vall del Llobregat i al S amb la Mediterrània. En ell s'hi poden reconèixer pràcticament totes les formes del carst: rasclers, dolines, poljés, avencs i surgències submarines. Els materials carstificats són predominantment les calcàries del Cretàcic, i en menor grau, les calcàries i les dolomies del Juràssic i Triàssic.

S'hi coneixen uns 500 avencs, que arriben a assolir en alguns casos profunditats de més de 200 m sense connectar amb conductes subhorizontals. Els avencs testimonien una carstificació en el passat molt important i de la qual eren els drens verticals en la zona d'absorció.

Les coves són rares si s'exceptuen la cova del Gegant i la cova Bonica. Per altra banda, hi ha també formes de circulació profunda, però estan submergides en la zona saturada.

Els objectius de la parada són múltiples:

- Introduir conceptes teòrics sobre el procés de carstificació i sobre la morfologia càrstica
- Continuar amb els coneixements teòrics que sobre els aqüífers es van iniciar a la **Parada 3** pàg. 13. Es tracta de comprendre el concepte de funcionament hidràulic d'un aqüífer, es a dir d'on ve l'aigua d'un aqüífer i on va a parar.
- Reconèixer sobre el terreny algunes de les morfologies càrstiques acabades d'explicar.
- Aquestes observacions permeten abordar els coneixements teòrics acabats de tractar:
  - El procés de la carstificació: dissolució de les roques calcàries des del punt de vista de les reaccions químiques que hi intervenen
  - Els conceptes d'exocarst i endocarst
  - El com s'han produït les formes que hi ha i quina és la seva morfologia permet relacionar-les amb el concepte de funcionament hidràulic per deduir on es troba la zona de recàrrega de l'aqüífer del Garraf i de quina manera té lloc el procés d'infiltració.

## Complement de conceptes teòrics. 1<sup>a</sup> part

En primer lloc a la parada s'expliquen una sèrie de conceptes nous que aniran sortint en aquesta parada i les següents.

**Què és el relleu càrstic?:** és el tipus de formes de relleu que es donen típicament en les zones on abunden les roques calcàries.

**De què depèn la carstificació?:** del clima de la regió, de la importància del mantell vegetal, de la quantitat d'anhidrid carbònic dissolt a l'aigua (cal recordar que els gasos són més solubles en aigua a baixa temperatura), de la quantitat d'aigua disponible i de les característiques físiques i químiques de la roca. Tot i que quantitativament el modelat càrstic es dona sobre tot en roques calcàries (perquè aquestes roques carstificables són les més abundants), també es pot formar en altres roques solubles amb aigua com ara guixos o sals.

**Com es forma el carst en roques calcàries?:** es forma a causa de la dissolució d'aquestes roques per part de l'aigua que hi circula, per això també es parla de formes del modelat càrstic. L'aigua és de pluja, i circula o bé superficialment o bé subterràniament un cop que s'ha infiltrat a través de la superfície del terreny (es parla llavors d'aigua d'infiltració).

**Com s'explica la dissolució de les roques calcàries?:** les calcàries estan formades per un mineral, la calcita (carbonat de calci,  $\text{CaCO}_3$ ). Tanmateix, aquest mineral és molt poc soluble en aigua, i per què es pugui dissoldre és necessari que l'aigua presenti un cert grau d'acidesa.

L'aigua de pluja no és aigua destil·lada, no és aigua pura, sinó que incorpora partícules de pols, dissol cristalls de sal marina que es troben en suspensió a l'atmosfera i que procedeixen del *spray* marí (gotícules d'aigua de mar arrossegades pel vent cap a l'atmosfera) i conté gasos atmosfèrics en solució. Entre aquests gasos en destaquen l'anhidrid carbònic ( $\text{CO}_2$ ) i l'oxigen ( $\text{O}_2$ ).

El  $\text{CO}_2$  dissolt es combina amb l'aigua per donar àcid carbònic mitjançant una reacció d'equilibri. Aquest àcid, mitjançant una altra reacció d'equilibri es dissocia en un ió bicarbonat i un ió hidrogen (**Figura 14**). Per aquest motiu les aigües de pluja tenen ja en origen una composició bicarbonatada, i és aquesta una de les causes que fan que les aigües subterrànies siguin bicarbonatades.

Eventualment, si el pH és torna molt alcalí (al menys per sobre de 8,5), l'ió bicarbonat també es dissocia, mitjançant una altra reacció d'equilibri, en un ió carbonat i un ió hidrogen (**Figura 14**).

L'ió hidrogen confereix a l'aigua de pluja un grau d'acidesa que fa que sigui agressiva envers els minerals carbonatats. De fet el pH de l'aigua de pluja pot oscil·lar de manera natural des de 6 fins a 4 (les aigües neutres tenen un pH de 7). Per tant l'aigua de pluja és àcida de manera natural (sense que s'hagi de parlar de pluja àcida, problema ambiental aquest que té una causa ben diferent).

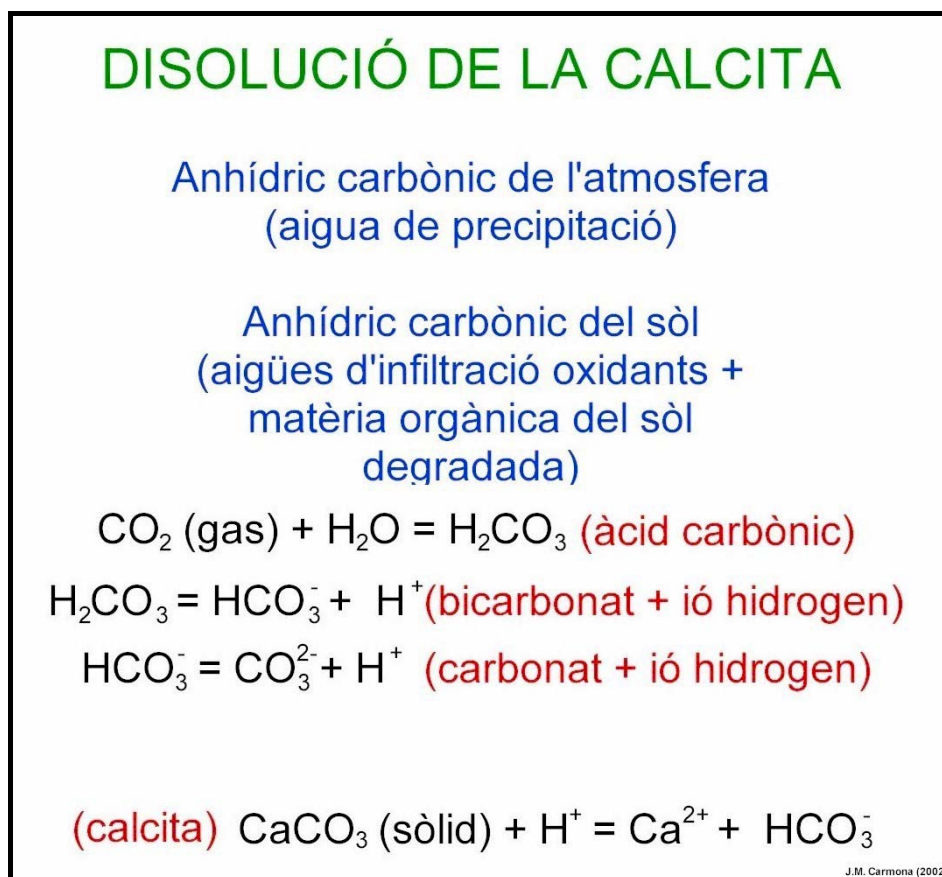
Per altra banda, quan l'aigua de pluja no s'escola per sobre de la superfície del terreny sinó que s'infiltra a través d'ell, travessa el sòl, on hi ha organismes vivint i morint i abundant matèria orgànica.

Tota aquesta matèria orgànica, en entrar en contacte amb les aigües d'infiltració riques en  $\text{O}_2$  (recordi's que l'aigua de pluja n'incorpora de l'atmosfera), es degrada donant lloc a més  $\text{CO}_2$  (de fet es diu que el sòl és una autèntica bomba generadora de  $\text{CO}_2$ ).

Aquest nou  $\text{CO}_2$  també es combina amb l'aigua per donar lloc a àcid carbònic, el qual immediatament es dissocia per formar més ions bicarbonat i hidrogen. Hi ha

per tant una nova font generadora d'acidesa (en aquest cas ja de les aigües d'infiltració) i de bicarbonat.

El carbonat de calci en presència de l'ió hidrogen es dissol mitjançant una altra reacció d'equilibri (**Figura 14**) per donar lloc a un ió calci i un altre de bicarbonat. Aquesta és la tercera causa per la qual les aigües subterrànies són bicarbonatades, així com una de les principals causes de què a més siguin fonamentalment bicarbonatades càlciques<sup>6</sup>.



**Figura 14:** Reaccions que donen lloc a la dissolució de la calcita (o dolomita) i que expliquen a més perquè les aigües subterrànies són fonamentalment bicarbonatades càlciques

**Totes les roques calcàries són igualment carstificables?:** no totes les roques calcàries són igualment carstificables. Les que ho són més són les calcàries més pures, és a dir, les que contenen més d'un 95% de carbonat de calci. La seva solubilitat va disminuint quan s'empobreixen en carbonat de calci.

Per altra banda, les calcàries són més solubles que les dolomies (més riques en Mg que les calcàries). És característic l'aspecte de relleu ruïnós on la roca dominant és la dolomia a causa de la dissolució diferencial dels nivells o zones més calcaris

**Què és la terra rossa?:** normalment les roques calcàries no són pures i, un cop dissoltes, deixen un residu de minerals insolubles, especialment argiles riques en òxids i hidròxids de ferro. Aquests residus solen acumular-se en esquerdes, forats, cavitats i depressions en general, i s'anomenen argiles de descalcificació,

<sup>6</sup> S'ha de tenir en compte que fins i tot en terrenys cristal·lins (granits, esquists, gneissos, etc..) la calcita és omnipresent, encara que s'hagi format de manera secundària com a mineral meteòric o d'alteració en general.

sovint conegudes també per *terra rossa*, denominació italiana que significa terra roja.

**Què és l'exocarst?:** és el conjunt de formes de modelat càrstic que es formen en superfície per dissolució directa de l'aigua de pluja o per colapse de formes subterrànies.

**Què és l'endocarst?:** és el conjunt d'estructures càrstiques subterrànies que es formen per dissolució de les aigües de pluja que s'han infiltrat sota el terreny. Per altra banda, aquestes aigües porten en solució bicarbonat de calci, llavors, en determinades circumstàncies es pot produir una pèrdua de CO<sub>2</sub>, amb la qual cosa precipita calcita. És el que passa quan es formen les estalactites, estalagmites o les crostes que recobreixen algunes cavitats càrstiques.

### **L'exocarst. Formes superficials (Figura 15):**

- **El rascler (cast. lapiaz):** és una forma exocàrstica menor, tot i així és molt característica del relleu càrstic. Es tracta d'una densa xarxa de solcs i d'incisions a la roca en forma d'acanaladures que segueixen la inclinació de la superfície de la roca. Aquests solcs i acanaladures s'estenen per superfícies variables formant veritables camps de rascler. Les incisions poden variar des de pocs mil·límetres de profunditat fins solcs d'uns quants metres de fondària.

Es formen per dissolució per part de l'aigua de pluja en circular per sobre de la roca calcària.

A les dolomies els rasclers poden assolir formes complexes causades per la dissolució diferencial del carbonat de calci respecte el de magnesi. En ser menys soluble la dolomita, les zones amb dolomies ressalten més que les de calcària. Així s'origina l'aspecte ruïniforme dels camps de rasclers en dolomies.

- **La dolina:** és una depressió tancada en forma d'embut, circular o oval, de dimensions variables (pot assolir més d'un centenar de metres de profunditat). Es produeix per col·lapse d'una cavitat subterrània o per la dissolució superficial de les roques calcàries.

En aquest últim cas se solen formar en la intersecció de diàclasis o fractures en general. En aquests punts les aigües superficials són més fàcilment engolides, tot dissolent les roques pròximes. La dissolució dels carbonats provoca una pèrdua de volum i un lent enfonsament de la zona afectada, tot formant una depressió, més o menys en forma d'embut.

Al fons de les dolines hi ha **avencs** per on l'aigua s'absorbeix. Al fons de la dolina també s'acumula una gran quantitat d'argiles de descalcificació, que a vegades arriben a obstruir totalment o parcial els punts d'absorció de l'aigua.

- **Uvala:** Quan les dolines són abundants i pròximes entre sí, amb el temps poden acabar unint-se formant dolines compostes, la forma resultant rep el nom d'uvala.
- **El poljé:** és una depressió de grans dimensions (pot arribar a assolir desenes de quilòmetres quadrats de superfície), de fons pla i de vores abruptes que es troba recoberta d'argiles de descalcificació. S'origina per l'esfondrament de cavitats subterrànies, per unió de dolines i uvalas. El drenatge és fa subterràniament, a través d'uns avencs anomenats **ponor**.

La vall de Beques es considera un poljé resultat de la superposició de l'erosió càrstica i de l'estructura tectònica.

- **Les valls seques:** a les zones càrstiques, les valls no solen tenir aigua corrent superficial. Aquestes valls s'han format en el passat en una època en què l'aigua era més abundant (a causa d'una més gran pluviometria o per una capacitat d'infiltració menor). Ara només funcionen en els moments de pluja, ja que una carstificació progressiva de la vall ha fet que les aigües siguin engolides des de la capçalera.
- **Les valls cegues:** es parla de vall cega quan la vall és recorreguda per un curs d'aigua superficial, permanent o temporal, que desapareix en un engolidor al peu d'un contrafort o en una depressió tancada.

### **L'endocarst. Formes subterrànies superficials (Figura 15):**

- **Els pous:** són conductes càrstics verticals o subverticals i que són accessibles per l'home.
- **Els avencs:** és un pou que comença a la superfície del terreny. Els orígens poden ser molt diferents. En general es formen per erosió directa d'un curs d'aigua que és engolit, d'altres vegades són cavitats formades per esfondrament de la cúpula d'una gran cavitat o del fons d'una dolina.
- **Les galeries:** són conductes càrstics de desenvolupament horitzontal i penetrables per l'home. Quan s'obren a l'exterior s'anomenen coves.
- **Les rampes:** són galeries que presenten un pendent fort.
- **Les sales:** són cavitats subterrànies de més gran dimensió que els conductes que hi connecten. Generalment es formen en la intersecció de galeries o de galeries i pous. Els canvis de roca poden afavorir la formació de sales.

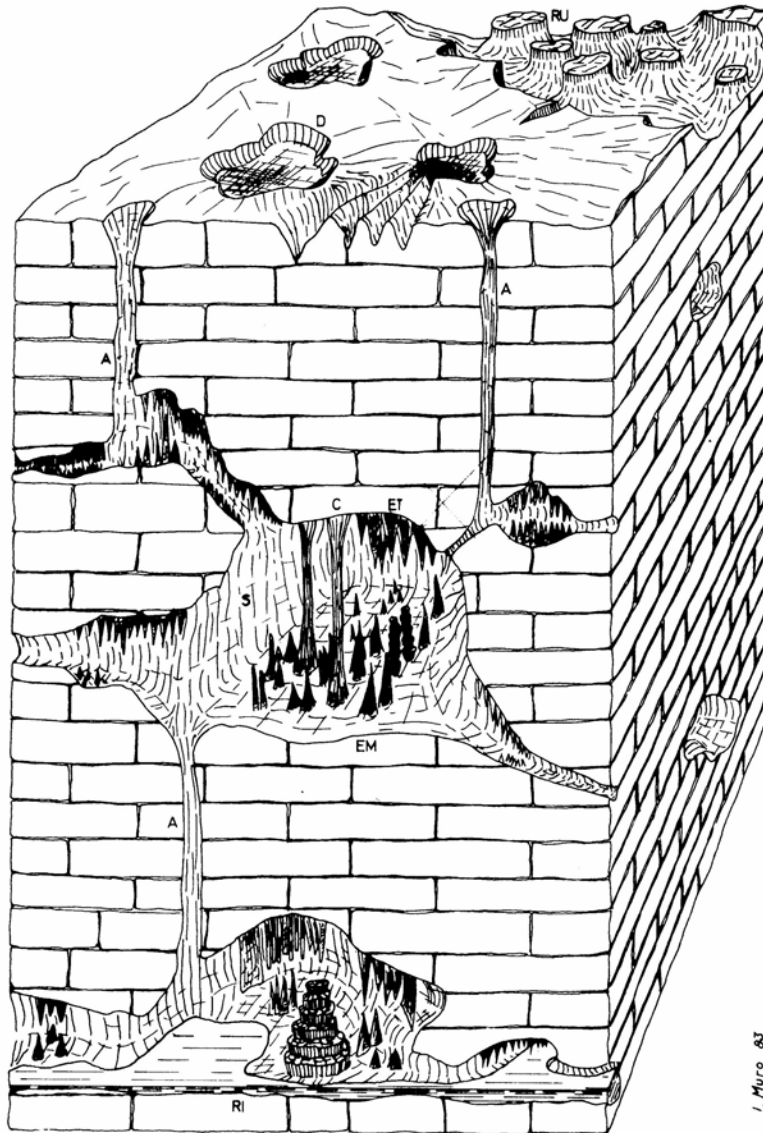
### **Complement de conceptes teòrics. 2ª part**

**D'on ve l'aigua d'un aqüífer?:** L'aigua d'un aqüífer procedeix de la precipitació que s'ha infiltrat en el que es coneix com a zona de recàrrega (**Figura 16**).

**Zona de recàrrega d'un aqüífer:** Es la superfície a través de la qual part de l'aigua de precipitació s'infiltra a través del terreny i arriba al nivell freàtic. Per tant, quan l'aqüífer es recarrega, el seu nivell d'aigua puja, especialment a la zona de recàrrega.

La resta de l'aigua de precipitació o bé circula superficialment (**escolament superficial**) o bé retorna a l'atmosfera per **evaporació** o per **transpiració** de les plantes.

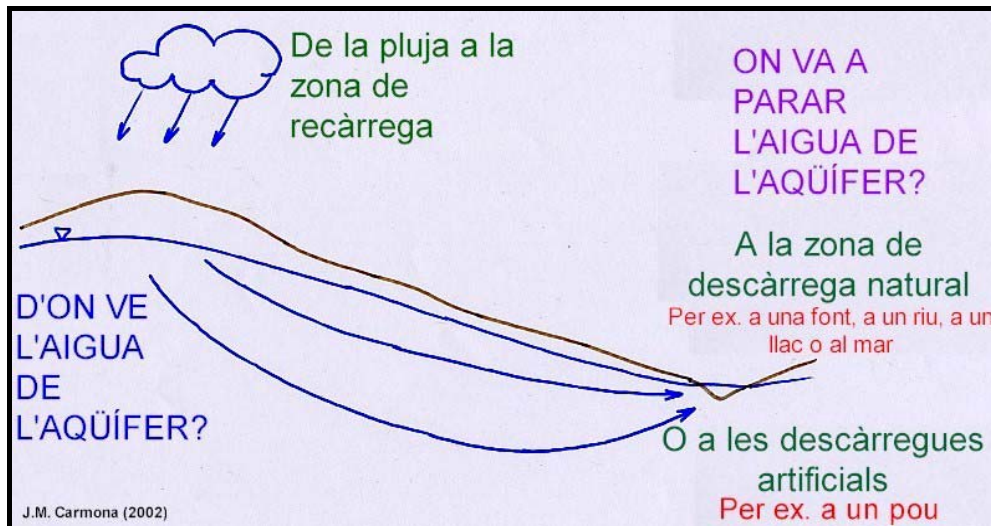
**Nivell freàtic:** en un aqüífer lliure superfície de separació entre la zona saturada i la zona no saturada.



**Figura 15:** Principals formes exocàrstiques (en superfície) i endocàrstiques (subterrànies). D: dolina. RU: relleu ruïniforme en dolomies. A: avenc. S: Sala. C: columna. ET: estalactita. EM: estalagmita. RI: riu subterrani. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 7 (pàg. 42)

**Zona no saturada:** Zona del subsòl que abarca des de la superfície del terreny fins el nivell freàtic. En ella conviuen tres fases: una sòlida (els grans minerals del sòl), aigua mullant aquests grans (rep el nom d'humitat del sòl) i aire entre els grans minerals

**Zona saturada:** Zona del subsòl en què hi ha dues fases: una sòlida (els grans minerals) i una líquida que omple totalment els porus que hi ha entre els grans minerals. Aquesta zona és la que constitueix precisament l'aqüífer



**Figura 16:** Funcionament hidràulic d'un aqüífer

**On va a parar l'aigua d'un aqüífer?:** L'aigua sempre es mou des de les zones on es troba a més alçada fins les de menor alçada. Així, un cop que l'aqüífer s'ha recarregat a la zona de recàrrega i ha pujat el nivell de l'aigua, aquesta es posa en moviment (**escolament subterrani**) i es dirigeix a les zones on el nivell de l'aigua és menor. Aquestes zones reben el nom de **zones de descàrrega (Figura 16)**.

**Què és la zona de descàrrega:** és aquell lloc per on l'aigua que havia entrat a l'aqüífer surt fora d'ell. De fet constitueixen la manera més important que tenen els hidrogeòlegs d'estudiar de manera directa l'aqüífer

**Tipus de zones de descàrrega:** les zones de descàrrega poden ser naturals o artificials

**Zones de descàrrega natural:** es tracta de punts o àrees que, de manera natural es troben connectades hidràulicament amb l'aqüífer. Per exemple: el **mar** (tancant-se per tant el Cicle de l'Aigua); una **font**, l'aigua de la qual pot anar a parar després a un riu i d'aquest al mar; un **riu**, o un **llac**.

**Zones de descàrrega artificial:** es tracta de punts o estructures lineals en els que, de manera artificial l'aigua subterrània surt a la superfície. Poden ser captacions verticals (**pous**) o captacions horitzontals (**galeries, mines d'aigua, drens o rases de drenatge**).

**Funcionament hidràulic de l'aqüífer:** és precisament la descripció de les vies per on circula l'aigua des de la zona on es recarrega fins la zona de descàrrega. Constitueix uns dels aspectes més importants a l'hora de descriure un aqüífer (**Figura 16**).

## Complement de conceptes teòrics. 3<sup>a</sup> part

Tenint en compte el quadre general que s'acaba de veure a l'apartat anterior, els sistemes càrstics, com a sistemes aqüífers que són, queden emmarcats considerant les tres zones que en ells es poden diferenciar en funció de la circulació hídrica:

- **Zona d'absorció o superficial:** és la zona de recàrrega de l'aqüífer i la zona no saturada situada per sota. Està formada per totes les estructures i formes exocàrstiques i endocàrstiques que faciliten la infiltració fins el nivell freàtic o nivell a partir del quals es dona ja la circulació subterrània no essencialment vertical (**Figura 15**).
- **Zona interna de circulació:** constitueix pròpiament la zona saturada (l'aqüífer), es dona una circulació amb components horitzontals dominants i el seus límits superior i inferior són respectivament el nivell freàtic i la base impermeable (**Figura 15**).
- **Zona d'emissió:** és la zona de descàrrega natural de l'aqüífer. En cas d'aqüífers càrstics la descàrrega sol ser puntual (no difusa) i a partir de pocs punts de surgència (fonts).

## Elements d'observació i reflexió a la parada 9

Un cop situats sobre els primers afloraments de calcàries, i després d'haver sentit les explicacions teòriques corresponents al **Complement de conceptes teòrics. 1<sup>a</sup> part** (pàg. 27), **Complement de conceptes teòrics. 2<sup>a</sup> part** (pàg. 30), i **Complement de conceptes teòrics. 3<sup>a</sup> part** (pàg. 33), cal observar els següents elements:

- Ens trobem sobre un terreny format per roques calcàries blanques i grises<sup>7</sup>, micrítiques<sup>8</sup>, molt compactes a mostra de mà, no poroses ni permeables. Tanmateix aquestes roques presenten unes formes molt particulars:
  - Per una banda es troben perforades (**Figura 17**). Els forats que s'hi troben són normalment verticals i cilíndrics, de diversos diàmetres i profunditats. Molt sovint aquests forats són tan abundants que arriben a ser coalescents, amb la qual cosa de la roca poden arribar a desprendre's trossos.
  - Per altra banda la superfície de moltes d'aquestes roques mostren formes acanalades característiques (**Figura 18**). Aquestes formes recorden els canals que es formarien sobre una superfície acaramel·lada sobre la que circulés un corrent d'aigua que dissolgués el caramel.

En ambdós casos el causant de tot això és un dels **processos càrstics** que tenen lloc al Massís del Garraf: la dissolució de les roques calcàries en superfície per part de l'aigua de pluja que s'escola per sobre de la superfície de les roques

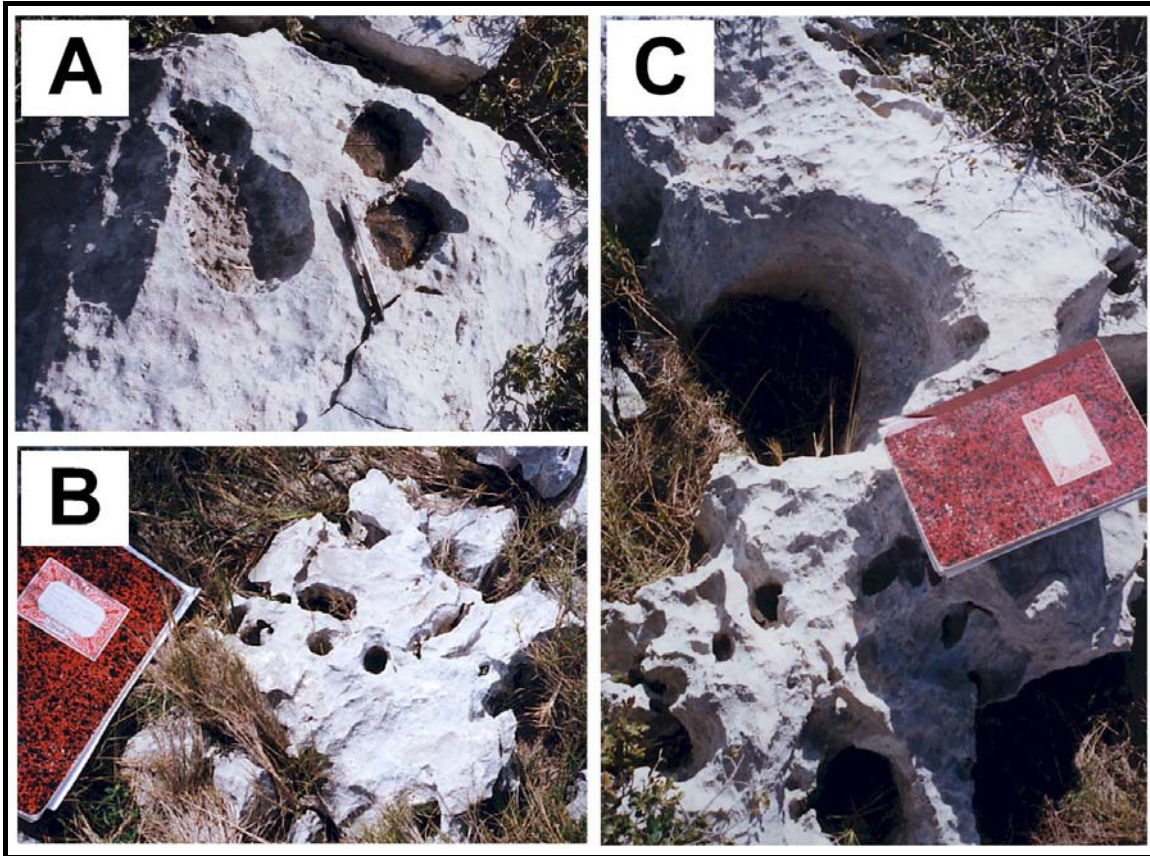
Simultàniament les diferents diàclasis i fractures en general es van engrandint en dissoldre's la calcària que hi ha a cada banda de la fractura (**Figura 18 B i C**).

<sup>7</sup> És important recordar que ens trobem en un parc natural, raó per la qual s'aconsella no picar les roques amb el martell de geòleg.

<sup>8</sup> Per evitar picar les roques, cal informar amb antelació de què les roques aflorants són calcàries micrítiques. És bo recordar l'aspecte de roca massissa i compacta que mostraven les mostres de mà de calcàries micrítiques recollides a la **Parada 5** (pàg. 19), tot i que en aquesta parada eren calcàries molt més antigues (Muschelkalk inferior, mentre que aquí són cretàtiques), i a la **Parada 7** (pàg. 23).

La calcària porta a més un petit percentatge d'argiles les quals, en no dissoldre's, s'acumulen al terra servint de substrat per la vegetació. Aquestes acumulacions d'argila reben el nom de **terra rossa** (de l'italià terra roja).

El paisatge resultant rep el nom de **rascler** (cast. *lapiaz*), una de les formes característiques del que s'anomena **exocarst**.



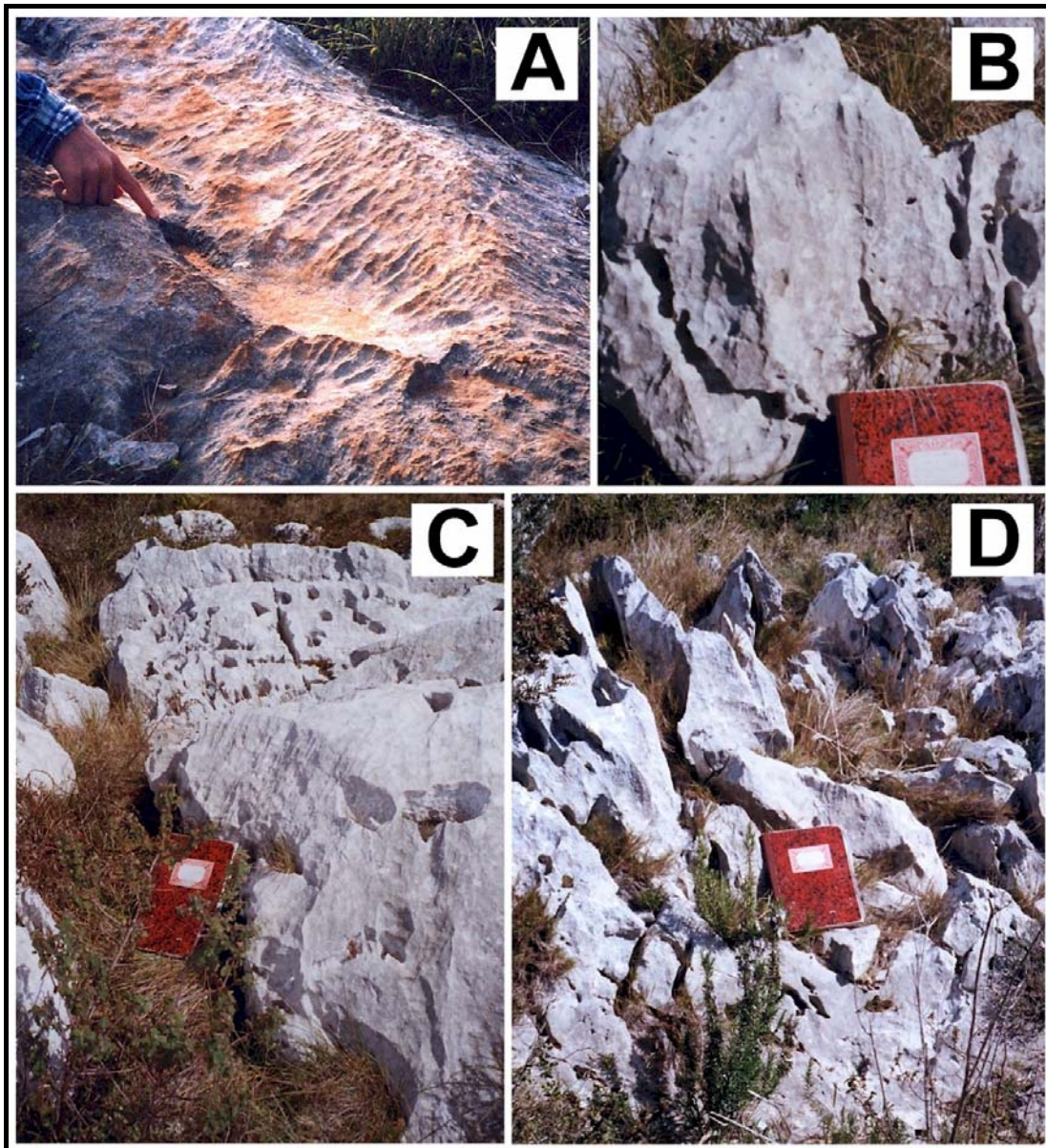
**Figura 17:** Formes exocàrstiques observables al Massís del Garraf. Calcàries amb perforacions cilíndriques. A: Una gota d'aigua de pluja, carregada amb àcid carbònic dissol la calcità que forma la calcària i comença a formar-se la perforació. B: Successives gotes de pluja continuen el procés de dissolució-perforació. C: Les perforacions poden assolir fins mig metre de diàmetre, arriben a convergir de manera coalescent i finalment poden arribar a deixar trossos de roca.

- Arribats a aquest punt cal fer la reflexió de si la superfície de rascler que s'està observant es pot considerar que és susceptible de deixar infiltrar l'aigua de precipitació.

La resposta és que, tot i que la roca a nivell de mostra de mà continua essent totalment impermeable, el resultat del rascler és una superfície a través de la qual l'aigua de pluja es pot infiltrar.

Per tant, recordant el concepte de zona de recàrrega vist anteriorment (pàg. 30), i considerant que el rascler que s'està observant ocupa gran part del paisatge que s'abasta amb la vista, es pot pensar que tota aquesta superfície constitueix la zona de recàrrega de l'aqüífer del Garraf.

La infiltració té lloc doncs de manera difusa a través del rascler o de manera puntual i localitzada a través d'altres estructures i formes que tot seguit, a la següent parada, es veuran (els avencs i dolines).



**Figura 18:** Formes exocàrstiques observables al Massís del Garraf. A i B: Formes acanalades formades en caure i circular l'aigua de pluja per sobre de la superfície de la roca calcària. C: Les acanaladures i les perforacions cilíndriques conviuen en ser les dues cares d'un mateix procés (la dissolució de la calcita per l'aigua de pluja amb àcid carbònic). Simultàniament les diferents diàclasis i fractures en general es van engrandint en dissoldre's la calcària que hi ha a cada banda de la fractura. D: El resultat final és el rascler. Entre les esquerdes, forats i cavitats que s'han format, s'acumula la *terra rossa*.

- Un altre element a observar des d'aquest punt són les instal·lacions de comunicacions de l'aeroport de El Prat, que tenen la seva localització en aquest massís, necessàriament en una de les zones més elevades de l'entorn. El tema dels impactes generats per les obres d'infraestructura ja havia estat tractat a la **Parada 6** (pàg. 21). Cal fer doncs la mateixa reflexió que allà es va fer en relació a les pedreres i línies elèctriques.

## **Parades 10 a 14**

### **Presentació de les parades 10 a 14**

El conjunt d'aquestes parades (**Figura 1**), constitueixen un petit recorregut que a grans trets segueix paral·lel a la carretera asfaltada que mena a les instal·lacions de comunicacions aeroportuàries de El Prat, fins arribar a la cruïlla amb la pista (pavimentada amb plaques de formigó) que porta a l'abocador de la Vall de Joan, on acaba el recorregut i l'itinerari-excursió.

### **Objectius de les parades 10 a 14**

L'objectiu de les parades és múltiple:

1. Per una banda observar i reconèixer altres estructures i formes, a part del rascler, que faciliten la infiltració de l'aigua cap a l'aqüífer
2. Per altra banda, un cop que s'han vist els complementos teòrics de la **Parada 9**, juntament amb totes les observacions estructurals realitzades a les parades anteriors, s'està en condicions de comprendre cap a on té lloc el flux subterrani i de quina manera es produeix la descàrrega subterrània de l'aqüífer del Garraf. Es tracta de fet d'acabar de completar el tema relatiu al **funcionament hidràulic** d'aquest aqüífer. Aquest concepte s'havia vist a nivell teòric a l'apartat corresponent a **Complement de conceptes teòrics. 2ª part** (pàg. 30) de la parada 9. També s'havia vist a nivell pràctic a la mateixa parada, però només pel que fa a la situació de la zona de recàrrega de l'aqüífer.
3. Com que la descàrrega té lloc a través de conductes submarins, s'aprofita per introduir els temes de la ciclicitat en la formació del carst del Garraf i de l'oscil·lació dels nivells del mar
4. A la **Parada 6**, arran de la presència de les urbanitzacions que s'observaven, es va fer una reflexió al voltant del model de desenvolupament que la nostra societat ha adoptat. Es reprèn aquest tema i es relaciona amb tot el que és la sostenibilitat dels recursos naturals, la qüestió dels recursos hídrics, la sobreexplotació d'aqüífers, i la gestió de l'aigua en general, tot considerant els aspectes de quantitat i qualitat. En aquest últim aspecte es compta amb l'exemple de la contaminació que pateix l'aqüífer del Garraf a partir de l'abocador de l'àrea metropolitana de Barcelona de la Vall de Joan.

### **Situació i elements a observar a la parada 10**

- Des de la **Parada 9**, cal travessar la barrera que impedeix la lliure circulació de vehicles cap a les torres de comunicació (**Figura 1**),. Al costat de la barrera, a uns 15 metres a l'esquerra de la carretera es pot observar enmig del rascler un primer avenc, d'uns 40 cm de diàmetre. Probablement aquest avenc està format per la intersecció de diàclasis o fractures en general, ja que no es troba relacionat amb cap dolina. Les seves coordenades són:

UTM-X 31 408697E (41°16'58"N)

UTM-Y 45 70920N (1°54'31"E)

- Tot i així, des de l'avenc anterior, a uns 30 metres de distància en direcció oest s'observa una petita depressió circular (de no més de 30 m de diàmetre), plana, plena d'argila de descalcificació (*terra rossa*) i que forma un petit prat en el que

creixen espècies herbàcies. Es tracta d'una petita dolina, en el centre de la qual és probable que hi hagi un avenc (encara que es trobaria tapat per les argiles de descalcificació).

- Tornant novament a la carretera en direcció nord, unes desenes de metres més endavant hi ha una petita senda a la dreta que s'endinsa en el rascler. Només cal caminar per aquesta senda uns quants metres, però mica en mica s'observa que la quantitat de *terra rossa* va augmentant a mesura que s'arriba a una petita depressió més o menys circular en forma d'embut, amb molt poca terra rossa acumulada i en el centre de la qual hi ha un altre avenc d'uns 40 cm de diàmetre (**Figura 19**). Les seves coordenades són:

UTM-X 31 408722E (41°16'58"N)

UTM-Y 45 70914N (1°54'33"E)



**Figura 19:** Avenc situat a prop del Pla de Querol. Associat a una petita dolina amb poca acumulació de *terra rossa*, la qual, quan hi plou és arrossegada a l'interior de l'avenc.

Un fet important a observar, tot i que en poca quantitat, es veu com la *terra rossa* que hi ha és arrossegada per l'aigua de pluja dins de l'avenc. Aquesta observació permet interpretar dos fets que s'han anat veient i explicant al llarg de les parades:

El sediment que colmatava determinades paleocavitats (per exemple a la **Parada 6**) era *terra rossa* que podia procedir en part de les calcàries dissoltes en superfície, i en part de les calcàries del subsòl dissoltes en formar-se l'endocarst.

Les dolines del Garraf són depressions en què l'aigua que és recollida s'infiltra sovint de manera molt ràpida a través dels avencs-engolidors que en elles hi ha, la qual cosa porta a la següent conclusió: en un relleu càrstic molt evolucionat, i poc abrupte com és la part del massís en què ens trobem, l'aigua de la pluja s'infiltra ràpidament i per tant la circulació superficial és escassa o quasi nul·la, amb l'excepció del moment immediatament posterior a la precipitació, en què l'aigua no pot ser absorbida de manera ràpida

## Situació i elements a observar a la parada 11

- Es tracta de seguir per la carretera en direcció nord (**Figura 1**), fins que hi ha un revolt a l'esquerra (no és necessari caminar pel mig del rascler, ja que és força complicat, però sí que cal anar observant les diferents formes i aspectes del rascler en tot aquesta parada). En arribar al revolt es pot entrar a mà dreta uns metres dintre del rascler ja que s'observen molt bé les perforacions cilíndriques i les acanaladures.
- Continuant per la carretera, s'observa a mà dreta que el rascler es troba extraordinàriament desenvolupat seguint les diàclasis quasi N-S i restant una morfologia que recorda a un conjunt de ganivets col·locats paral·lelament entre sí.

## Situació i elements a observar a la parada 12

- Uns metres més endavant de l'anterior observació, a mà dreta hi ha un camí traçat sobre un terreny ple d'argila vermella que s'endinsa dintre d'una petita dolina de fons pla, totalment plena de *terra rossa* i d'uns 30 metres de diàmetre. Les coordenades del seu centre són:

UTM-X 31 408886E (41°17'08"N)

UTM-Y 45 71220N (1°54'39"E)

- Seguint tota l'estona pel mateix camí s'arriba a la vora calcària d'aquesta dolina i immediatament s'arriba a una altra dolina més gran, també plena de terra rossa, però aquesta vegada en seu centre hi ha un important avenc (de més d'un metre de diàmetre). L'avenc permet veure que sota la capa d'argila vermella hi ha un gruix de blocs de calcàries que s'havien dipositat al centre de la dolina, on es trobava de fet l'embut representat per l'avenc. El fet que sobre aquests blocs es trobi el dipòsit de terra rossa fa pensar en una època en el passat en què l'avenc es trobaria totalment tapat per les argiles. Per algun motiu l'avenc es va obrir a la superfície, probablement perquè l'erosió remuntant dintre de l'avenc el va eixamplar fins que la cavitat no va suportar el pes de blocs calcaris i argiles de sobre.

També s'observa com actualment a més de l'aigua de precipitació, que entra directament dintre de l'avenc, hi ha argiles que també s'escolen i que contribueixen a anar colmatant i fossilitzant parts de l'estructura endocàrstica.

Les seves coordenades són:

UTM-X 31 408927E (41°17'09"N)

UTM-Y 45 71260N (1°54'41"E)

**Atenció:** compte en apropar-se a l'avenc perquè és perillós a causa de les seves dimensions i profunditat.

- Un cop en aquesta dolina, mirant en direcció est, cap el mar, hi ha un camí que, algunes desenes de metres més enllà, porta a una altra dolina. Es tracta d'una dolina que no és plana, sinó que té forma d'embut i que no conté argila de descalcificació. Al centre s'hi ha produït una mena d'enfonsament circular d'uns 20 metres de diàmetre. Dintre d'aquest enfonsament hi ha altres dos enfonsaments secundaris de 5 m de diàmetre (i amb dos avencs al seu interior) i de 4 m de diàmetre (amb un avenc a l'interior, es tracta de l'avenc Carol).

Les seves coordenades són:

UTM-X 31 409021E (41°17'09"N)

UTM-Y 45 71255N (1°54'45"E)

Tanmateix, no és necessari anar a visitar aquesta dolina ja que no aporta informació complementària. A més el rascler que cal travessar fa el camí difícil i fins i tot per un grup nombrós podria ser perillós l'accés a la boca dels avencs.

- Tornant al primer camí, i reprenent-lo en direcció nord, es passa pel costat d'alguns avencs taponats amb roques (en aquest cas es tracta d'avencs que no estan relacionats amb dolines).
- En un cert moment s'arriba a una altra petita dolina que també té un avenc al seu centre. Es tracta de l'avenc Asensio. En aquesta dolina també s'observa que hi hagué una etapa en què estava totalment colmatada per la terra rossa, tot i que actualment l'avenc s'ha obert a la superfície i gran part de l'argila està sent engolida per l'avenc
- Sortint d'aquesta dolina i seguint el camí, s'arriba en pocs metres a l'avenc Llambrics, de 107 de profunditat explorats.

Les seves coordenades són:

UTM-X 31 409029E (41°17'16"N)

UTM-Y 45 71467N (1°54'45"E)

### Situació i elements a observar a la parada 13

- El camí anterior porta finalment de nou a la carretera asfaltada que mena a les instal·lacions de telecomunicacions. Després d'uns quants metres surt a la dreta una pista pavimentada amb plaques de formigó, cal prendre-la. A l'esquerra, sota les antenes de comunicacions, s'estén una gran superfície plana circular, plena de terra rossa. Es tracta de la dolina de Campgràs, la més gran de tot el Massís del Garraf (**Figura 1**). A causa de les seves grans dimensions, s'havia conreat en el passat blat i altres cereals.

Al centre d'aquesta dolina també hi ha un avenc (en mig d'uns arbustos i matolls que hi ha al centre de la dolina). Les coordenades d'aquest avenc són:

UTM-X 31 409062E (41°17'19"N)

UTM-Y 45 71577N (1°54'46"E)

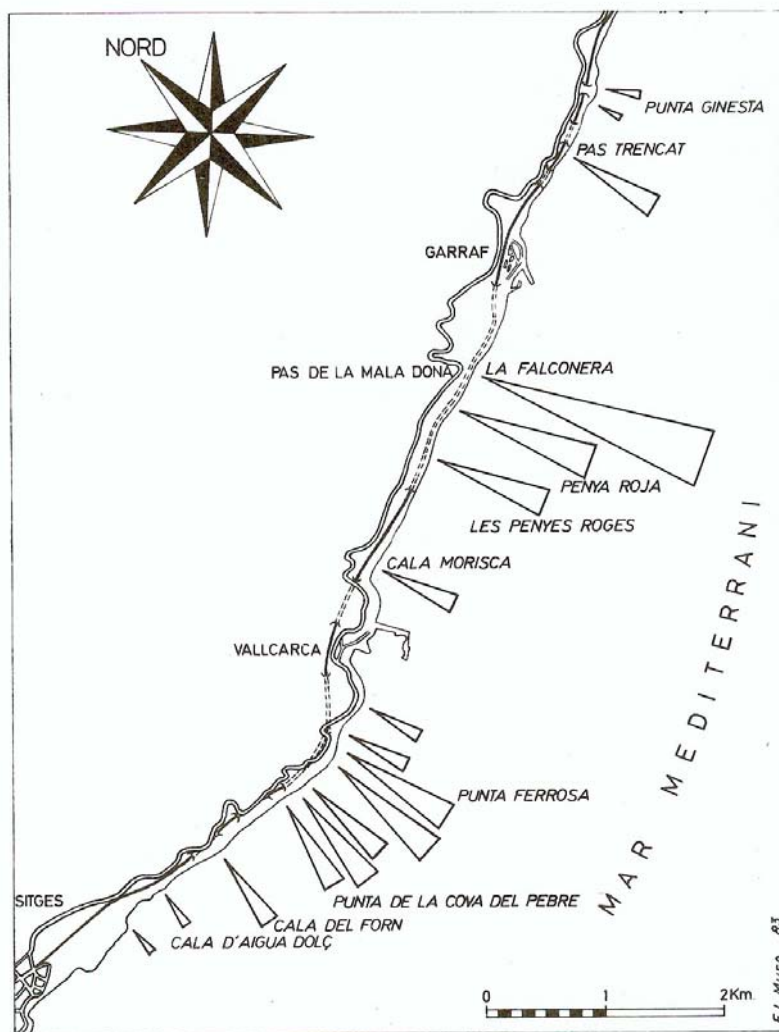
### Zona de descàrrega natural de l'aqüífer del Garraf:

- Un cop arribats aquí, ara és el moment d'acabar d'unir algunes de les peces que falten del puzzle que s'ha anat presentant. A l'apartat de la **Parada 9 Complement de conceptes teòrics. 2ª part** (pàg. 30), es definia el concepte de funcionament hidràulic d'un aqüífer. Les observacions realitzades a partir de la **Parada 9** ens han permès identificar que ens trobem precisament a una de les zones de recàrrega de l'aqüífer del Garraf (zona absorció de l'aqüífer càrstic), constituïda per tot el complex exocàrstic i l'endocarst que es troba per sobre de la zona saturada o zona de circulació (veure **Complement de conceptes teòrics. 3ª part**, pàg. 33).

Falta preguntar-se on descarrega de manera natural aquest aqüífer i de quina manera ho fa. A les parades situades a la Carretera de Begues s'ha vist que tant la base impermeable de l'aqüífer com els propis nivells que el formen cabussen cap al SO. També s'ha vist que tot el Massís del Garraf es troba fracturat en una sèrie de blocs limitats per falles profundes de direcció dominant SO-NE i NO-SE (**Figura 6**). La zona de circulació de l'aqüífer càrstic dirigeix per tant el flux d'aigua subterrània de manera predominant cap el mar, que constitueix el principal nivell de base de l'aqüífer. I la permeabilitat de la roca carstificada és tan gran, que l'aqüífer de

seguida és drenat, i per això que els nivells són tan deprimits i l'aigua tan profunda (**Figura 22**).

La sortida té lloc fonamentalment a través d'una sèrie de surgències submarines (**Figura 20**), algunes d'elles fins i tot fins a 1 km mar endins. La identificació d'aquestes surgències s'ha realitzat a partir de reconeixement aeri, d'anàlisi química de mostres d'aigua del mar, d'estudis termomètrics des d'embarcacions i a partir d'exploració subaquàtica.



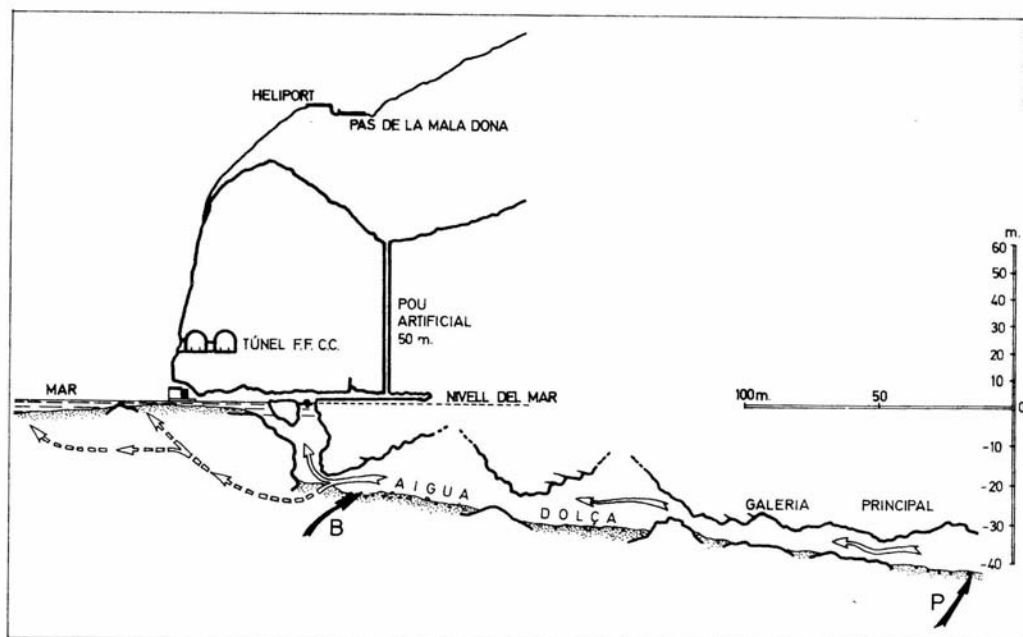
Mapa de les surgències marines de Garraf, segons LI. Astier, establert durant la campanya Garraf-70.

**Figura 20:** Surgències submarines que representen part de la descàrrega natural de l'aqüífer del Garraf. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 10 (pàg. 51)

La més important d'aquestes surgències és la de La Falconera (**Figura 21**). El punt o punts de sortida es troben per tant per sota de l'actual nivell del mar, i fins i tot en alguns casos mar endins, a certa distància de l'actual línia de costa. Això és important perquè indica que La Falconera i el sistema de conductes amb què es relaciona ja eren funcionals en èpoques passades en què el nivell de la Mediterrània es trobava a cota inferior a l'actual. De fet s'han explorat més de 750 metres de galeries submergides que arriben a una fondària de 80 metres sota el nivell actual del mar (**Figura 21**).

El paleodrenatge de la surgència de la Falconera degué ser molt important, ja que les característiques dels conductes amb què es relaciona indiquen que permetrien d'evacuar cabals d'unes quantes desenes de metres cúbics per segon. Actualment té una funcionalitat molt limitada; especialment en èpoques d'aigües baixes, com a conseqüència de les extraccions artificials. Les dades hidroquímiques semblen confirmar-ho, tot assenyalant una salinitat important a les parts més interiors explorades (causada per invasió de l'aigua de mar en augmentar els bombeigs).

La resta de surgències submarines sembla que són menys importants, encara que no es disposa dades que permetin fer una valoració dels seus cabals.



Perfil de la Falconera, segons Ll. Astier, establert durant la campanya Garraf-70. B: punt assolit per a A. Ballester i E. Admetlla el 1954; P: punt assolit per E. Petit i R. Recuero el 1970.

**Figura 21:** Surgència submarina de La Falconera. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 11 (pàg. 52)

### **Reflexió al voltant dels diferents cicles de carstificació que hi ha hagut al Massís del Garraf:**

- L'existència de La Falconera i les altres surgències submarines, juntament amb algunes de les observacions que s'han anat realitzant al llarg de les parades<sup>9</sup>, demostren que el carst no és un sistema estàtic sinó que és un procés dinàmic subjecte a canvi continu. En el cas del Garraf, els investigadors han demostrat que el carst és policíclic. Així, s'han identificat al menys tres cicles de carstificació durant el Pliocè i el Quaternari.

Del primer cicle en queden nombrosos avencs residuals penjats i decapitats per l'erosió superficial

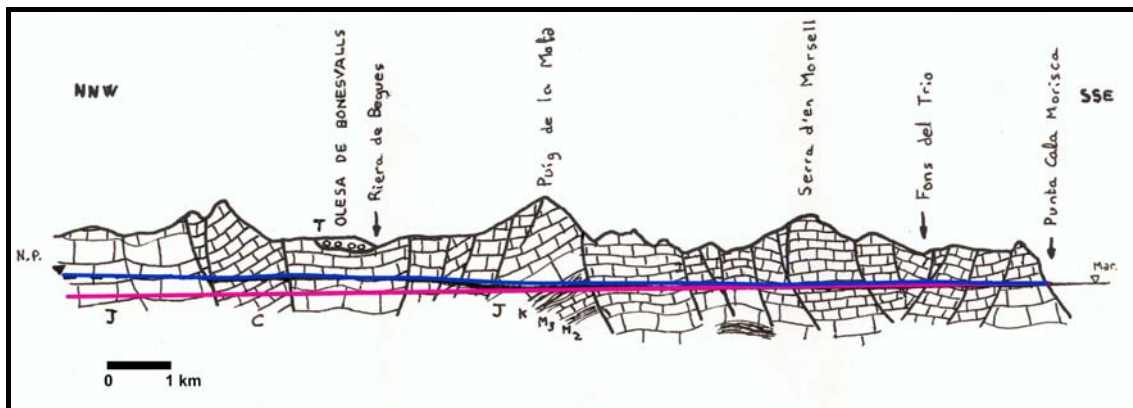
Al segon cicle pertanyen els avencs situats en els fonsos, encara que penjats respecte el tàlveg actual. La majoria dels avencs més profunds són d'aquest cicle, alguns han estat rejuenits i actualment són actius.

<sup>9</sup> Per exemple el propi procés de dissolució, les paleocavitats plenes de sediment o els avencs reactivats al centre de dolines.

Del tercer cicle són els avencs situats en el fons de les dolines millor conservades, entre les fissures dels actuals camps de rasclers, o en el fons de torrents i rieres. Aquests avencs encara no han arribat al màxim desenvolupament i són actius.

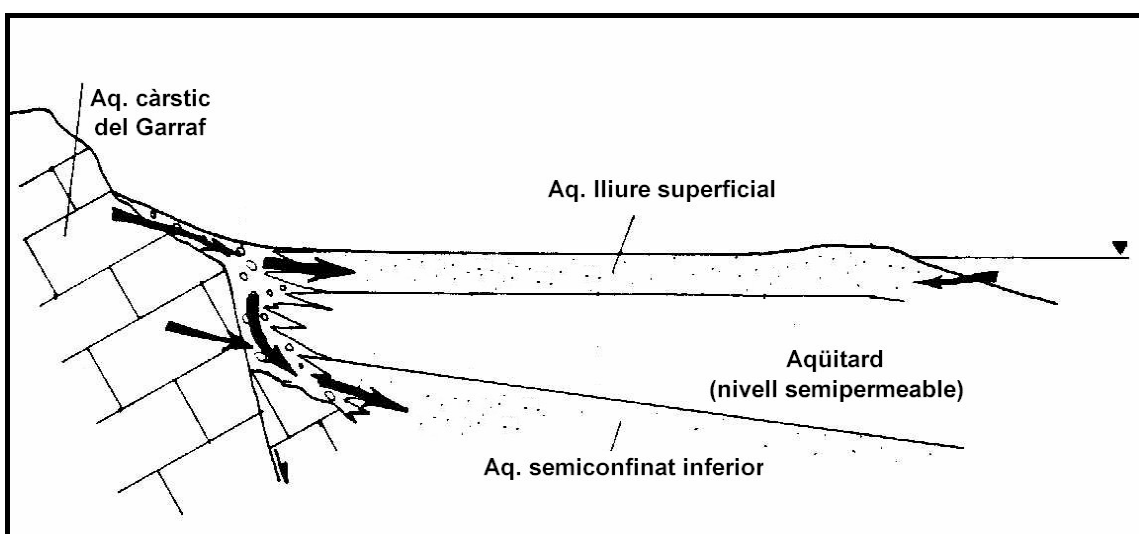
### Altres zones de descàrrega natural de l'aqüífer del Garraf:

- Avui dia encara no està clar si l'aqüífer del Garraf és un sistema únic (**Figura 22**) o bé està format per varies subunitats més o menys interconnectades. Sí que se sap que existeix una divisòria d'aigües subterrànies de manera que una part petita descarrega de manera subterrània o a través de unes poques fonts (per exemple a la zona de Gelida) cap a la depressió del Penedès. Una altra part molt més important descarrega cap el mar a través de les esmentades surgències submarines.



**Figura 22:** Nivell piezomètric general de l'aqüífer del Garraf. Es troba molt deprimat a causa de l'elevada transmissivitat de l'aqüífer. El gradient dirigit cap el mar indica que el flux subterrani té lloc en aquesta direcció (l'aigua subterrània sempre es mou de més alçada piezomètrica a menys alçada piezomètrica). Extret de Coromines, J. (1997)

Per altra banda, tampoc no es pot descartar una possible descàrrega cap els aqüífers semiconfinat i lliure del delta del Llobregat en el seu extrem més meridional (**Figura 23**).

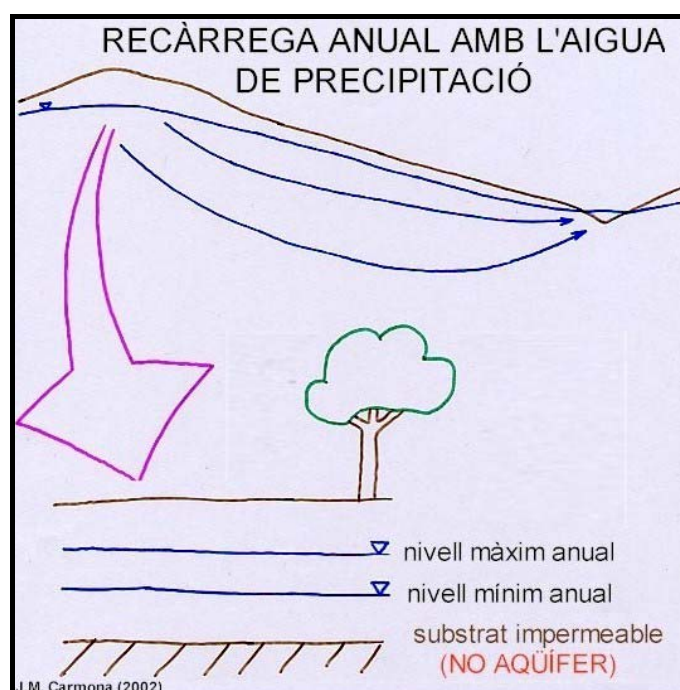


**Figura 23:** Possible descàrrega natural de l'aqüífer del Garraf als aqüífers del Delta del Llobregat (aquífer lliure superior i semiconfinat inferior) en el seu extrem més occidental

### Complement de conceptes teòrics

Per anar a l'última parada cal tornar a la pista pavimentada amb plaques de formigó. Abans però d'iniciar el recorregut és necessari introduir nous conceptes:

**Què són el nivell màxim i mínim anual de l'aqüífer?:** són els nivells de l'aigua en dues èpoques extremes. El nivell màxim durant l'època de recàrrega de l'aqüífer (és a dir durant els mesos plujosos, en el nostre clima mediterrani durant la primavera i la tardor). El nivell mínim al final de l'estiu, ja que en no produir-se recàrrega l'aqüífer es va buidant al llarg de l'estiu (**Figura 24**).

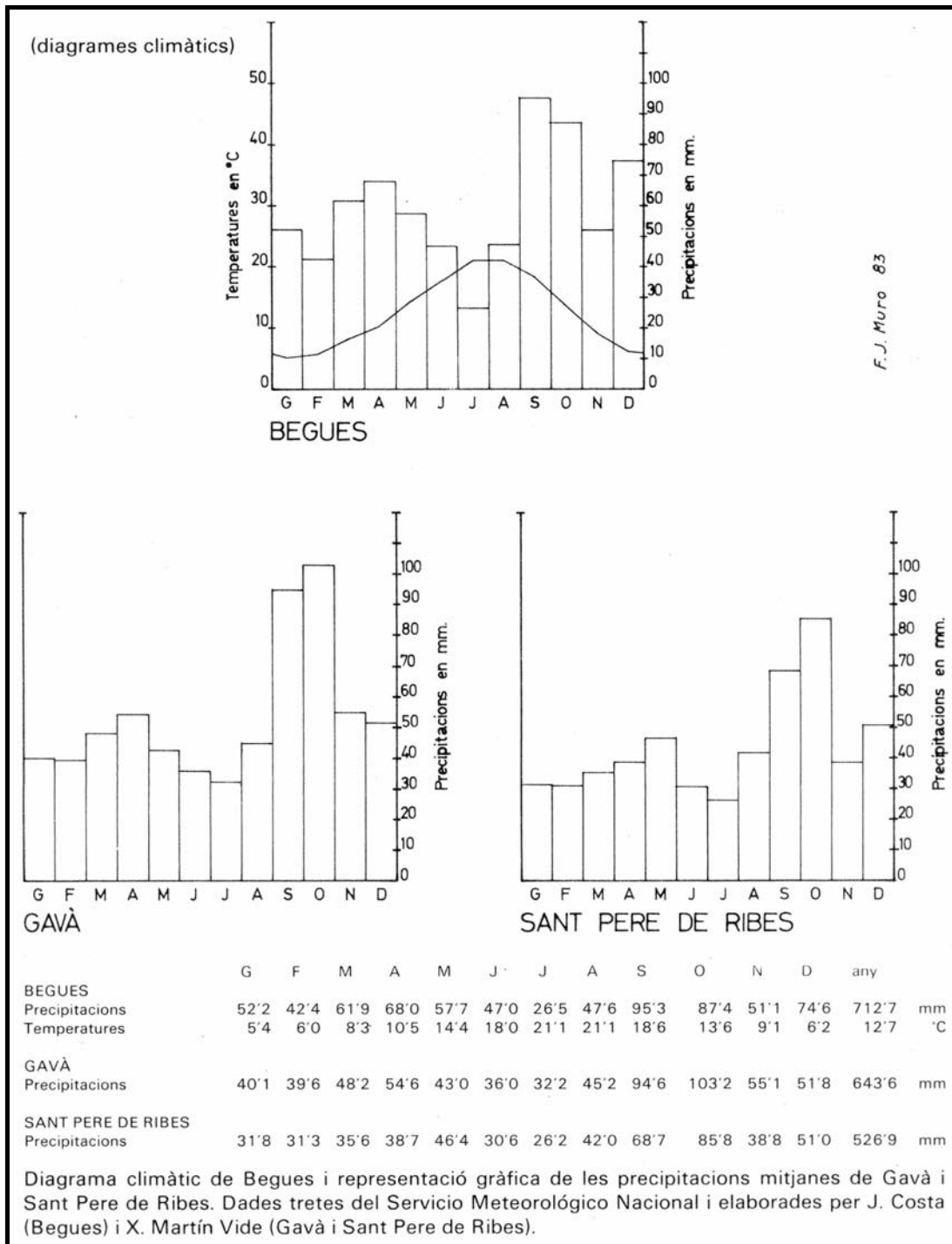


**Figura 24:** La recàrrega anual d'un aqüífer té lloc en general a partir de la precipitació anual que cau sobre la zona de recàrrega (també es pot recarregar parcial o totalment per connexió hidràulica amb altres sistemes aqüífers)

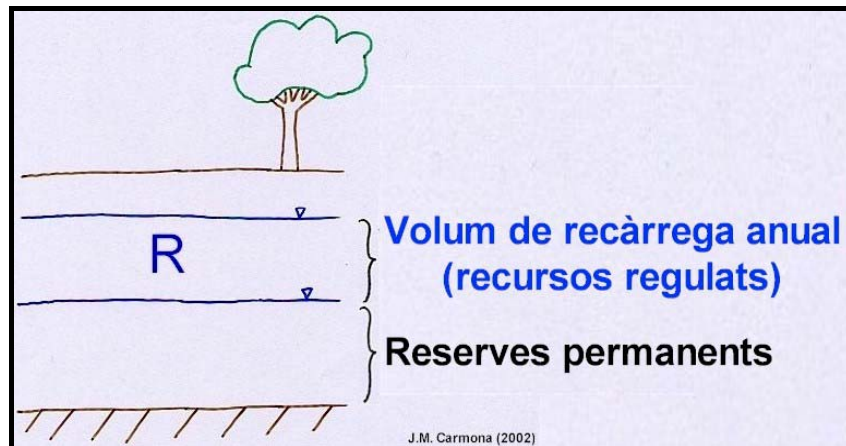
**Què és el volum de recàrrega anual de l'aqüífer?:** és el volum d'aigua que es recarrega al llarg de l'any (és a dir el volum d'aigua que cada any entra a l'aqüífer), ve a coincidir amb el volum d'aigua que hi ha emmagatzemat entre el nivell màxim i el mínim anual (**Figura 26**).

**En quines èpoques de l'any es produeix la recàrrega de l'aqüífer del Garraf?:** els diagrames climàtics de les estacions meteorològiques que s'hi troben al Massís del Garraf mostren que el clima és típicament mediterrani. La precipitació és més elevada a la perifèria del Massís (estacions de Begues i Gavà, amb 713 i 644 mm/any respectivament) i menor dintre del Massís (estació de Sant Pere de Ribes, amb 527 mm/any). Aquesta precipitació és irregular al llarg de l'any, però tot i així segueix el patró mediterrani: màxims de precipitació a la primavera i sobre tot a la tardor.

És durant aquestes dues estacions quan la quantitat d'aigua disponible, per precipitació o per la humitat que hi ha al sòl, és superior a l'evapotranspiració, i per tant hi ha una infiltració que arriba efectivament al nivell freàtic.



**Figura 25:** Diagrames climàtics a les estacions meteorològiques de control situades al Massís del Garraf i a la seva perifèria. Extret de Panareda, J.M. (1986), figura 14 (pàg. 61)



**Figura 26:** El volum de recàrrega anual d'un aqüífer és l'aigua continguda a l'aqüífer entre la posició de mínim nivell piezomètric i el màxim nivell piezomètric

**Què són les reserves d'un aqüífer?:** és el volum d'aigua que en un moment donat es troba emmagatzemada en un aqüífer. Es tracta d'un concepte estàtic (no es considera el temps) i té dimensions de  $L^3$ .

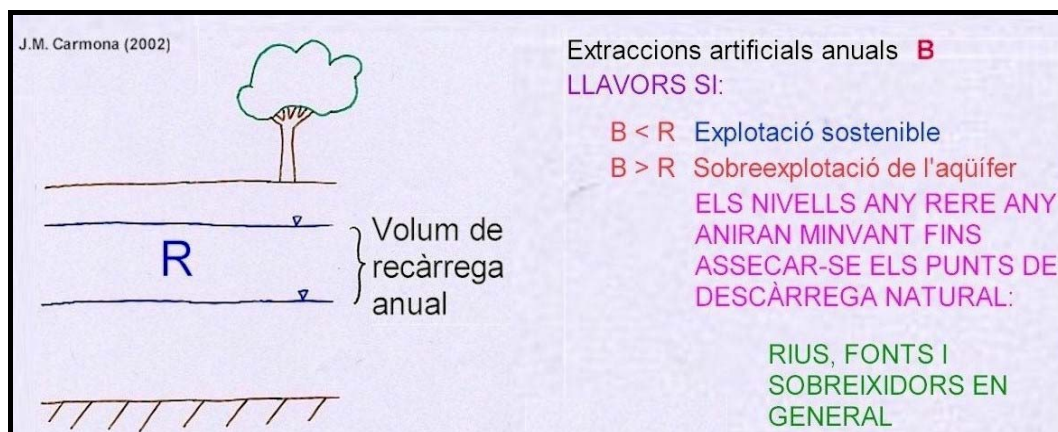
**Què són les reserves permanents?:** és el volum d'aigua que hi ha emmagatzemada per sota del nivell mínim mitjà anual (**Figura 26**). Es tracta també d'un concepte estàtic (no es considera el temps) i té per tant dimensions de  $L^3$ .

**Què és la sobreexplotació d'un aqüífer i quan es dona?:** si al llarg de l'any s'extreu més aigua de l'aqüífer que la que entra, una part de l'aigua extreta surt de la reserva permanent, amb la qual cosa el nivell mínim anual d'aquell any és menor que el de l'any anterior. Llavors es diu que l'aqüífer s'està sobreexplotant (**Figura 27**).

Si la sobreexplotació continua any rera anys, el nivell mínim és cada cop menor i finalment l'aqüífer s'acaba esgotant.

Aquest concepte es pot estendre al conjunt de recursos hídrics disponibles (subterranis i superficials) i en general a qualsevol altre recurs.

**Què són els recursos regulats:** coincideix amb el volum de recàrrega anual, i representa el volum d'aigua que teòricament hom pot disposar al llarg de l'any sense produir sobreexplotació (**Figura 26** y **Figura 27**). Com que es considera el temps, normalment un any hidràulic, es tracta d'un concepte dinàmic i per tant té dimensions de cabal ( $L^3/T$ ).



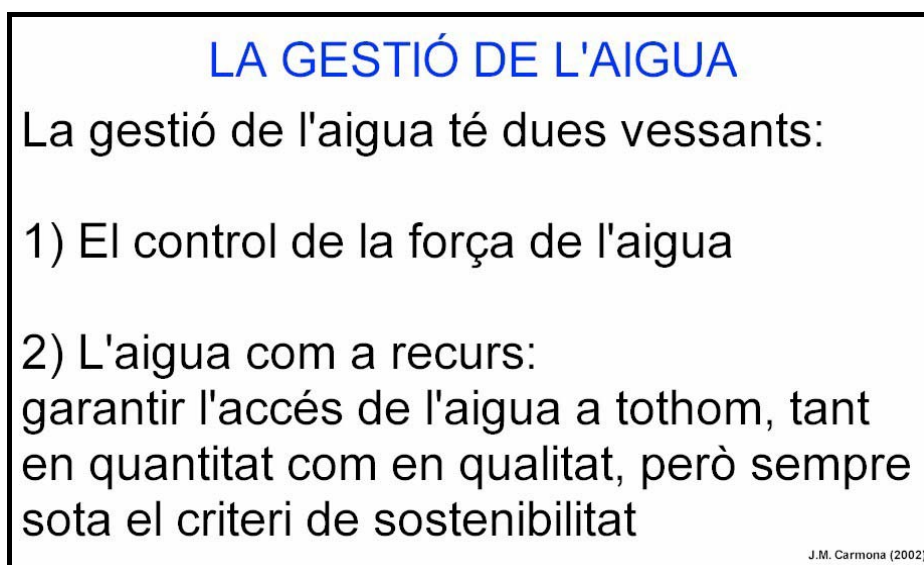
**Figura 27:** Què és la sobreexplotació d'un aqüífer i quines són les seves conseqüències

El concepte de sobreexplotació en general ens permet reprendre les idees i reflexions que, sobre del model de desenvolupament que hem adoptat a la nostra societat, es van fer a la **Parada 6** arran de la presència de les urbanitzacions que s'observaven. Aquesta represa d'idees porta a considerar dos nous conceptes de candent actualitat:

**Què és la gestió de l'aigua?** La gestió de l'aigua té dues vessants (**Figura 28**):

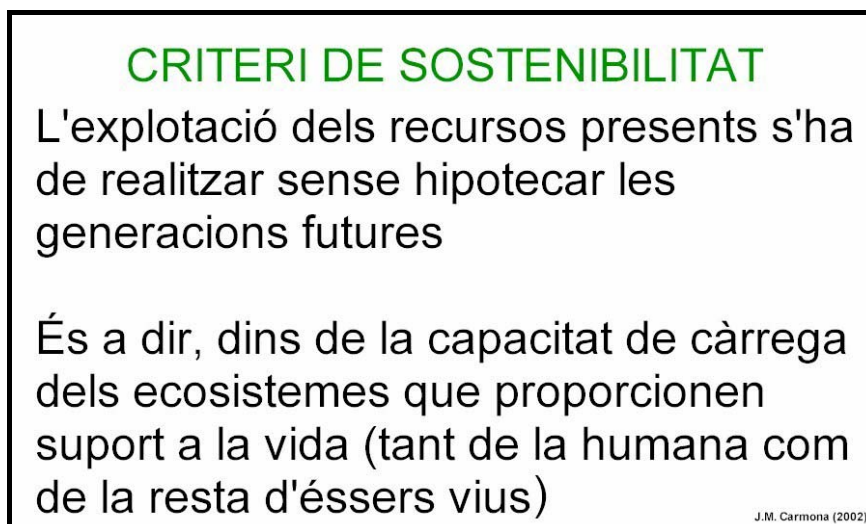
1. Per una banda el **control de la força de l'aigua**: només cal tenir en compte que les inundacions, dintre dels desastres naturals, són els que més víctimes i danys materials causen cada any.
2. Per l'altra **l'aigua com a recurs**<sup>10</sup>: garantir l'accés de l'aigua per tothom, tant en quantitat com en qualitat, però sempre sota el criteri de sostenibilitat (**Figura 29**). Aquesta definició de la gestió de l'aigua aplicada al vessant de l'aigua com a recurs es pot aplicar també a qualsevol recurs natural, tant si es tracta de recursos renovables com si són no renovables.

**Què significa desenvolupament sostenible**: significa que la humanitat, en el seu desenvolupament, pot explotar els recursos naturals que necessiti, però sense hipotecar les generacions futures ni els ecosistemes actuals ni futurs (**Figura 29**). És a dir dins de la capacitat de càrrega dels ecosistemes que proporcionen suport a la vida (tant la humana com de la resta dels éssers vius).



**Figura 28:** Què significa la gestió de l'aigua?

<sup>10</sup> L'aigua és un recurs natural que es renova cada any durant les èpoques de precipitació abundant (en el nostre país durant la primavera i la tardor). Tot i així hi ha zones del planeta en què no es dona aquesta renovació, i les aigües subterrànies que s'exploten són aigües fòssils recarregades durant l'última glaciació. Llavors no es pot dir que en aquestes zones l'aigua és un recurs. Es podria dir que són reserves i com que la seva explotació implica que no seran renovades, es diu normalment que es fa "mineria de l'aigua".



**Figura 29:** Què significa sostenibilitat aplicada a l'explotació dels recursos naturals?

**Què és un pla hidrològic:** no és més que un instrument de gestió, és el pla que especifica com s'ha de dur a terme la gestió i quines són les obres públiques que s'han de realitzar per garantir l'adequada gestió de l'aigua

### **Situació i elements a observar a la parada 14**

- Per continuar fins l'última parada de l'itinerari, cal continuar en direcció nord per la pista pavimentada amb ciment (**Figura 1**). És necessari observar les roques que hi ha a banda i banda de la pista, tot comparant-les amb les que fins ara s'han anat veient.
- Cal adonar-se que les roques continuen essent les mateixes calcàries cretàiques que s'han anat veient des del Pla de Querol, que aquestes roques també es troben carstificades i que en superfície el rascler és la forma exocàrstica dominant.
- Conforme es continua avançant, es poden observar en la llunyania els materials que s'han vist a la part de la carretera de Begues. Els materials vermells del Buntsandstein de la zona del Castell d'Eramprunyà i a sobre d'ells les calcàries del Muschelkalk inferior. Tots aquests materials s'observen cabussant cap a la nostra posició.
- En un moment donat s'arriba a un canvi de pendent i la pista comença a baixar. Davant s'obre la Vall de Joan. Segons les condicions meteorològiques del dia es pot sentir la olor de metà que regna a l'ambient i es poden sentir crits de gavines.
- Envoltada d'una tanca metàl·lica es troba la capçalera de la Vall de Joan, i dintre d'ella l'abocador d'escombraries de l'àrea metropolitana de Barcelona. Ens trobem a la seva part superior, ja totalment inactiva, clausurada i segellada. Amb sistemes d'evacuació de gasos, nivells impermeabilitzants d'argiles i a la base impermeabilització asfàltica i *gunitat* de ciment.
- La pista continua cap a la dreta, cal prendre un camí de terra que, per la banda esquerra de la tanca puja fins el cim de La Morella. Pujant uns metres per aquest es pot observar una panoràmica de l'abocador.



**Figura 30:** Abocador de la Vall de Joan. En primer terme el rascler sobre les calcàries cretàiques. Al fons el delta del Llobregat.

### **Complement de conceptes teòrics i informació addicional**

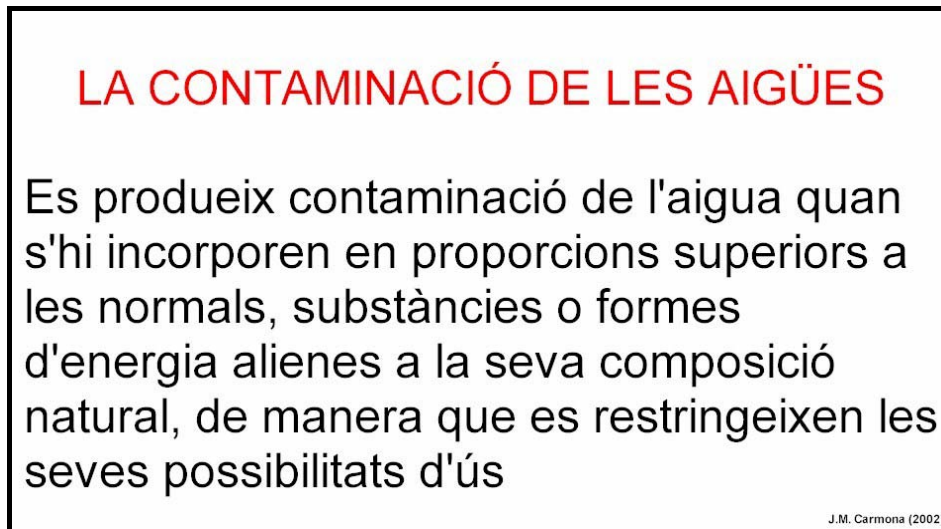
A l'última part de la parada anterior s'ha tractat el tema de la gestió de l'aigua. En l'aigua com a recurs s'ha indicat la necessitat que té la humanitat (i els ecosistemes presents i futurs) de disposar d'aigua en quantitat i en qualitat. Fins ara s'ha tractat el tema de la quantitat, però no el de la qualitat.

La presència de l'abocador de la Vall de Joan permet introduir el concepte de la contaminació de les aigües i a més estudiar l'impacte que sobre l'aqüífer del Garraf es pot haver produït. S'ha de tenir en compte que una disminució de la qualitat de l'aigua constitueix *de facto* una disminució de la quantitat, ja que aquesta aigua queda inservible pel usos als quals inicialment estava destinada.

Estudiem però abans alguns conceptes útils:

**Què és la contaminació de les aigües?:** la fragilitat del medi aquàtic deriva, entre altres raons, de l'elevat poder dissolvent de l'aigua per una ampla gamma de productes de rebuig, a la vegada que és un vehicle excel·lent per la evacuació de materials molt diversos, tant en estat sòlid com líquid o gasós, ja sigui en suspensió, dissolució o flotació. Així, la utilització per part de tots els sectors socioeconòmics de molts productes agressius amb el medi, ha convertit a les aigües en receptores de molts d'aquests productes i els seus derivats, la qual cosa condueix freqüentment a situacions greus de degradació.

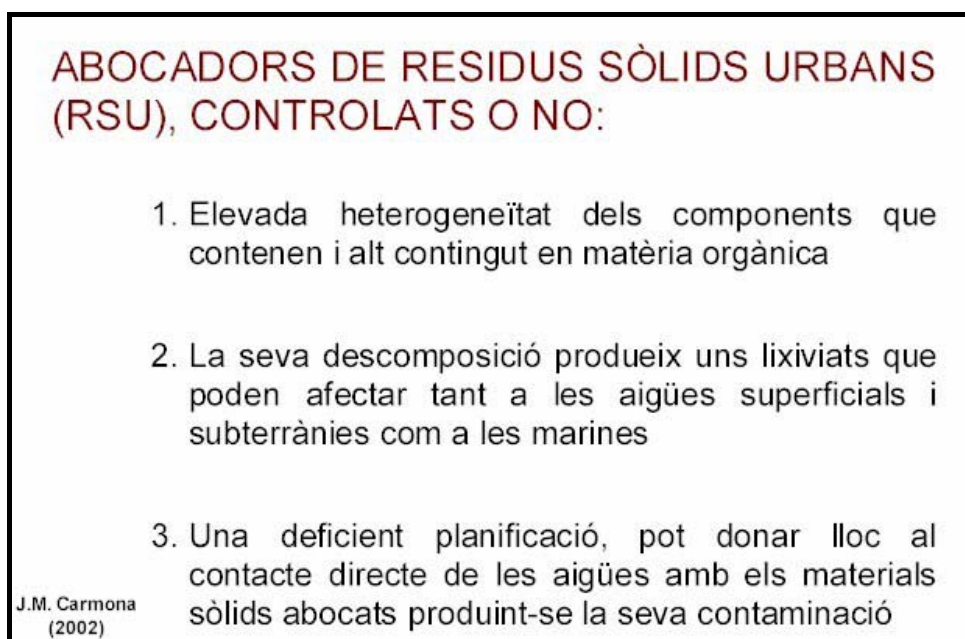
Es produeix la **contaminació** de l'aigua quan s'hi incorporen -en proporcions superiors a les normals algunes substàncies, formes d'energia o elements aliens a la seva composició natural, de manera que es restringeixen les seves possibilitats d'ús (**Figura 31**). Aquests agents adquireixen llavors la consideració de **contaminants**, i poden procedir del propi medi natural, de l'activitat metabòlica humana, de la indústria, de l'agricultura, de la ramaderia, etc.



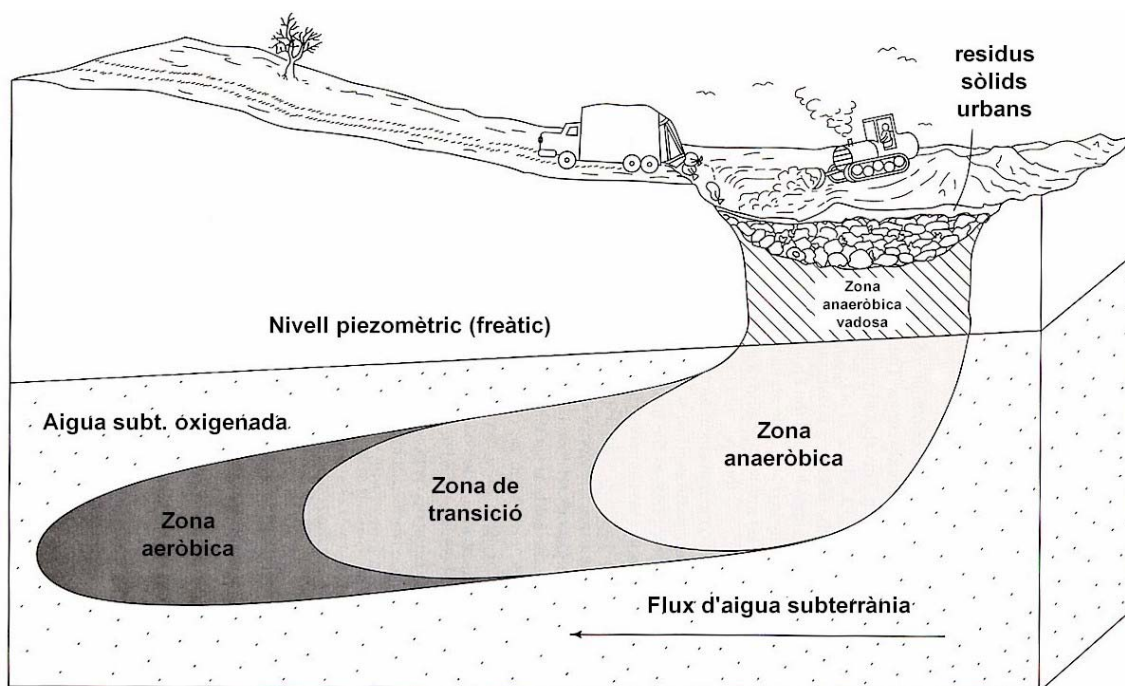
**Figura 31:** Què és la contaminació de les aigües?

**Quines són les característiques de la contaminació produïda pels abocadors de residus sòlids urbans (RSU)?:** veure la **Figura 32**, i per altra banda a la **Figura 33** s'observa un esquema de com en un abocador de RSU no impermeabilitzat, els productes lixiviatos arriben al nivell freàtic i, un cop allà, s'incorporen al flux subterrani general formant un plomall de contaminació que es va dispersant aigües avall, contaminant cada cop un volum més gran d'aigües, i fent disminuir consegüentment el volum total de recursos hídrics utilitzables.

També s'observa a la **Figura 33** la zonació geoquímica que es produeix en el subsòl, partint d'una zona anaeròbia en què l'oxigen natural de l'aigua subterrània és consumit totalment per degradar la matèria orgànica procedent de l'abocador, fins arribar al front del plomall en què les substàncies incorporades ja han estat oxigenades.



**Figura 32:** Característiques de la contaminació dels abocadors de residus sòlids urbans (RSU)



**Figura 33:** Zonació geoquímica del plomall de productes lixiviats procedents d'un abocador de residus sòlids urbans (RSU)

### Breu història de la creació de l'abocador

Els més de tres milions d'habitants de Barcelona i les ciutats del seu voltant, produeixen cada dia centenars de tones d'escombraries que és necessari gestionar (reciclant-les, eliminant-les o abocant-les en algun indret). Entre els anys 1971 i 1972 es va buscar un lloc per abocar-les-hi. Tanmateix, el fet que un determinat paratge fos considerat com a zona adient feia aixecar enèrgiques protestes per part dels veïns.

A mitjan 1972, el Massís del Garraf va ser considerat un indret adequat, i ben aviat s'hi decidí la instal·lació d'un abocador. La resposta per part de científics foren clares en exposar les conseqüències ambientals sobre el massís. Aquestes conseqüències van ser considerades com de poca importància per alguns tècnics i pels polítics. Tots ells concebien el Garraf com un indret sense valor ecològic especial: només un paisatge rocós, sense aigua i amb una vegetació pobre.

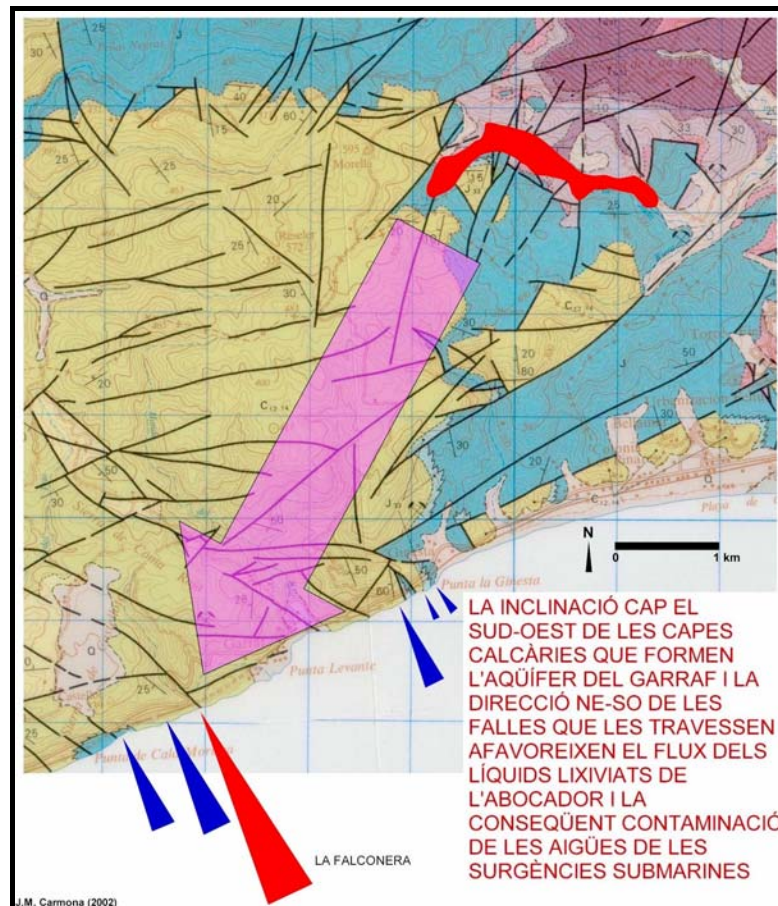
Els científics, però, indicaven que darrera aquestes aparences, Garraf era un massís que contenia uns sistemes naturals propis d'elevat valor ecològic, tant pel que feia a la morfologia càrstica superficial i subterrània com per la vegetació. La situació de l'abocador justament a la zona de recàrrega de l'aqüífer càrstic i la dinàmica de la circulació hídrica subterrània feia totalment desaconsellable la instal·lació de l'abocador. Un cop aquest entrés en funcionament, comportaria una ràpida, intensa i irreversible contaminació de les aigües subterrànies.

Malgrat tot, a la primavera de 1974 l'abocador de Garraf, situat en el fondo de les Terradelles i a la vall de Joan, s'inaugura oficialment. Al cap de pocs mesos, una part de les aigües subterrànies ja s'havia contaminat de manera irreversible. Avui dia La Falconera, la surgència submarina més emblemàtica i important també ho està.

Recordi's que, tal i com s'ha vist al llarg del recorregut des de la **Parada 13** a la **14**, ens trobem en ple rascler. Per això, a pesar de les mesures d'impermeabilització que s'hagin pogut adoptar per protegir el vas permeable de la infiltració de productes lixiviats cap el nivell freàtic (amb un *gunitat* de ciment o cobert amb capes asfàltiques), s'ha de considerar que sovint la impermeabilització absoluta no existeix.

Cal concloure per tant que és necessari sempre establir perímetres de protecció dels aqüífers, tant a la zona de recàrrega i circulació com a la zona de descàrrega, ja sigui natural com artificial. En el cas de l'aqüífer del Garraf, el problema ha estat més greu ja que la contaminació afecta a l'aqüífer des de la zona de recàrrega fins la surgència sota el mar (**Figura 34**):

1. Des de la zona de descàrrega, els productes lixiviats s'infiltra verticalment a través de les esquerdes que, en el sistema d'impermeabilització, a ben segur es van formar des dels inicis de l'abocador.
2. El descens vertical al llarg de conductes verticals (pous, avencs, diàclasis i fractures en general més o menys dissoltes) els porta fins el nivell freàtic.
3. S'incorporen al flux general en direcció SO (a favor del cabussament general de les capes i del substrat impermeable).
4. Es dispersen horitzontalment en un front cada cop més ample a mesura que avança el flux.
5. La sortida cap el mar a favor de la xarxa de fracturació fa que es contaminin les descàrregues naturals, com ara La Falconera.



**Figura 34:** Contaminació de la surgència submarina de La Falconera amb els productes lixiviats procedents de l'abocador de RSU de la Vall de Joan (abocador de Barcelona i àrea metropolitana, color vermell)

## **Bibliografia**

- ALMERA, J. (1897): Mapa geológico y topográfico de la provincia de Barcelona. región segunda, o del río Noya al mar. Escala 1: 40.000. Barcelona.
- ASTIER, LI. (1970): Exploración de la surgencia submarina de la Falconera. *Geo y Bio Karst*, VII (27):706-709. Barcelona.
- ASTIER, LI. (1971): Surgencias marinas en el karst litoral. *Geo y Bio Karst*, VIII (29):755-758. Barcelona.
- BORRAS, J. (1973-74): Catálogo espeleológico del macizo de Garraf, 3 t. Barcelona.
- COSTA, J. (1983): Estudi termo-pluviomètric i balanç d'aigua de la conca del riu Llobregat. Dep. Geografia. Univ. Barcelona. Tesi de Llicenciatura (inèdit).
- COROMINES, J. (1997): Perímetre de protecció per a captacions municipals d'aigua potable de la comarca del Garraf. *Estudis i Monografies* 19:101 pp. Diputació de Barcelona. Servei de Medi Ambient.
- Fundació Enciclopèdia Catalana (1992): Història Natural dels Països Catalans. Volumes 1, 2 i 3: Geologia I i II, i Recursos geològics i sòl.
- I.G.M.E. (1972): Mapa geológico de España. Escala 1: 200.000 N° 42: Tarragona. Madrid.
- I.G.M.E. (1975): Mapa geológico de España. Escala 1: 50.000. N° 448: Prat de Llobregat. Madrid.
- LLOPIS LLADÓ, N. (1941): Morfología e hidrología subterránea de la parte oriental del macizo cárstico de Garraf (Barcelona). *Estudios Geográficos*, 11(4):413-466. Madrid.
- LLOPIS LLADO, N. (1947): Contribución al conocimiento de la morfo-estructura de los Catalánides. C.S.I.C. Barcelona.
- LLOPIS LLADO, N. (1970): Fundamentos de hidrología cárstica. Blume. Barcelona.
- MARTÍN VIDE, X. (1985): Plugues i inundacions a la Mediterrània. Ketres. Barcelona.
- MONTORIOL, J. (1950): Estudio geoespeleológico de la sima de la Ferla (macizo de Garraf, Barcelona). *Pirineos*, VI (15-16):217-228. Saragossa.
- MONTORIOL, J. (1950): Estudio geoespeleológico de dos simas en el macizo de Garraf (Barcelona). *Speleon*, 1(1):39-53. Oviedo.
- MONTORIOL, J. (1950): El campo de dolinas del Pla del Campgrás (macizo de Garraf, Barcelona). *Speleon*, 1(2):95-111. Oviedo.
- MONTORIOL, J. (1950): Resultado de las observaciones espeleometeorológicas realizadas durante la exploración de la sima de los Esquirols (macizo de Garraf, Barcelona). *Speleon*, 1(3-4):177-186. Oviedo.
- MONTORIOL, J. (1952): Estudio hidrogeológico del fondo de les Terradelles (macizo de Garraf, Barcelona). *Speleon*, 3(1-2):3-31. Oviedo.
- MONTORIOL, J. (1954): La hidrología kárstica del Pla de les Basses y sus relaciones con la de otras zonas del macizo del Garraf (Barcelona). *Speleon*, 4(1-2):55-104. Oviedo.
- MONTORIOL, J. (1956): Contribución al conocimiento hidrogeológico del borde oriental del macizo de Garraf (zona Gavá-Castelldefels). *Speleon*, VII(1-4):3-36. Oviedo.

- MONTORIOL, J. (1964): Estudio de las formas cársticas hipógeas desarrolladas en los bordes del Poljé de Begues (macizo de Garraf, Barcelona). *Speleon*, 1-5 (1-4):3-38. Oviedo.
- MONTORIOL, J. (1966): Las resurgencias de las costas de Garraf. *Dritter Intern. Kongr. für Speläologie*, V: 43-49. Viena.
- MONTORIOL, J. (1968): Estudio morfogénico de varias cavidades desarrolladas en el «Fondo del Lladoner» (Garraf, Barcelona). *Geo y Rio Karst*, V(18):465-472. Barcelona.
- MONTORIOL, J. i MUNTAN, LI. (1958): Sobre la evolución del fondo de les Tarradelles (nota complementaria). *Speleon*, IX(3-4):61-74. Oviedo.
- MONTORIOL, J. i MUNTAN, LI. (1959): Resultado de nuevas investigaciones en el campo de dolinas del Pla del Compgrás (macizo de Garraf, Barcelona). *Speleon*, X(3-4):127-152. Oviedo.
- MONTORIOL, J. i MUNTAN, LI. (1961): Resultado de nuevas investigaciones sobre el karst del Pla de les Basses (Macizo de Garraf, Barcelona). *Speleon*, XII(1-2):35-53. Oviedo.
- PANAREDA, J.M. (1986): Descubrim Garraf. Diputació de Barcelona. Institut de Ciències de l'Educació de la Universitat de Barcelona. Col·lecció Pau Vila nº 6. 163 pp. Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.
- RIBA, O.; BOLOS, O.; PANAREDA, J.M.; NUET, J. i GOSALBEZ, J. (1980): Geografia Física deis Països Catalans. 3ra ed. Ketres. Barcelona.
- ROMERO, D. i AMENOS, A. (1983): El món subterrani. Iniciació a l'espeleologia. Col·lecció ventall, nº 2. Ketres. Barcelona.
- SOLÉ SABARÍS, LI. (1958-74): Geografia de Catalunya. Aedos. Barcelona.
- SOLÉ SABARIS, LI. (1964): Geología de los alrededores de Barcelona. Dir. General de Enseñanza Media. Madrid.
- ULLASTRE, J. (1970): Consideraciones morfométricas y morfogénicas sobre las perforaciones cilindroides en el lapiaz. *Speleon*, XVII:7-22. Barcelona.
- ULLASTRE, J. i MASRIERA, A. (1969): Exploraciones al «Avenc de l'Esquerrà». *Geo y Biokarst*, VI (20-21):537-538. Barcelona.
- VIRGILI, C. (1958): El Triásico de los Catalánides. *Bol. Inst. Geol. y Minero de España*, LXIX. Madrid.