

# Estudi hidroatmosfèric: el massís de Garraf, un exemple d'embornal de CO<sub>2</sub> (2002-2009)

Raúl Cano,<sup>1,2</sup> Xavier Font,<sup>2</sup> Paula Cociña<sup>1</sup> i Albert Sanmartí<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Espeleòlegs. Unió Muntanyenca Eramprunyà (Gavà)

<sup>2</sup>Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona

## Resum

S'exposa un model atmosfèric per als avencs del Garraf i se'n demostra el funcionament com a precursor de la dinàmica càrstica. Per a això, es presenten els resultats del monitoratge sobre composició i paràmetres atmosfèrics en l'avenc del Llamp, s'indiquen les relacions hidroatmosfèriques i es contrasten els resultats amb l'aigua a la sortida del sistema (La Falconera). Es presenten conclusions sobre el paper d'embornal de CO<sub>2</sub> que realitza la conca de la Falconera, de manera que, segons l'alcalinitat mitjana i el volum d'aigua mobilitzada, a l'any s'atraparien 1.700 t de CO<sub>2</sub>, equivalents a la producció d'unes 300 persones. De la mateixa manera, les tones de CaCO<sub>3</sub> dissoltes s'han expressat en mm/ka (mm de sòl dissolt en 1.000 anys) i s'ha calculat una taxa de denudació entre 50 i 100 mm/ka.

### Paraules clau

Embornal, denudació, alcalinitat, zona vadosa

## Resumen

### Estudio hidroatmosférico: el macizo de Garraf, un ejemplo de sumidero de CO<sub>2</sub> (2002-2009)

Se expone un modelo atmosférico para las simas del Garraf y se demuestra su funcionamiento como precursor de la dinámica kárstica. Para ello, se presentan los resultados de la monitorización sobre composición y parámetros atmosféricos en la sima de El Llamp, se indican las relaciones hidroatmosféricas y se contrastan los resultados con el agua a la salida del sistema (La Falconera). Se presentan conclusiones sobre el papel de sumidero de CO<sub>2</sub> que realiza la cuenca de La Falconera, de manera que, según la alcalinidad media y el volumen de agua movilizada, al año se atrapan 1700 t de CO<sub>2</sub>, equivalentes a la producción de unas 300 personas. Del mismo modo, las toneladas de CaCO<sub>3</sub> disueltas se han expresado en mm/ka (mm de suelo disuelto en 1.000 años) y se ha calculado una tasa de denudación entre 50 y 100 mm/ka.

### Palabras clave

Sumidero, denudación, alcalinidad, zona vadosa

## Abstract

### Hydro-Atmospheric Study: the Garraf Massif, an Example of a Carbon Sink (2002-2009)

An atmospheric model for the caverns of the Garraf Massif is presented, and its operation as a precursor to karst dynamics is shown. To that end, the results obtained from monitoring the composition and atmospheric parameters in the Llamp cavern are presented, the hydro-atmospheric relationships are shown and the results are contrasted with the system's exit water (La Falconera). Conclusions are presented about the carbon sink role that the Falconera basin plays; depending on the mean alkalinity and the volume of water moved, 1,700 tonnes of CO<sub>2</sub> (equivalent to the amount produced by 300 people) are captured. Similarly, tonnes of dissolved CaCO<sub>3</sub> have been expressed in mm/ka (mm of soil dissolved in 1,000 years), and a denudation rate has been estimated at somewhere between 50 and 100mm/ka.

### Keywords

Sink, denudation, alkalinity, vadose zone

## Introducció

Per fer aquest estudi es va establir un acord entre la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona, el Parc Natural del Garraf i la Unió Muntanyenca Eramprunyà de Gavà.

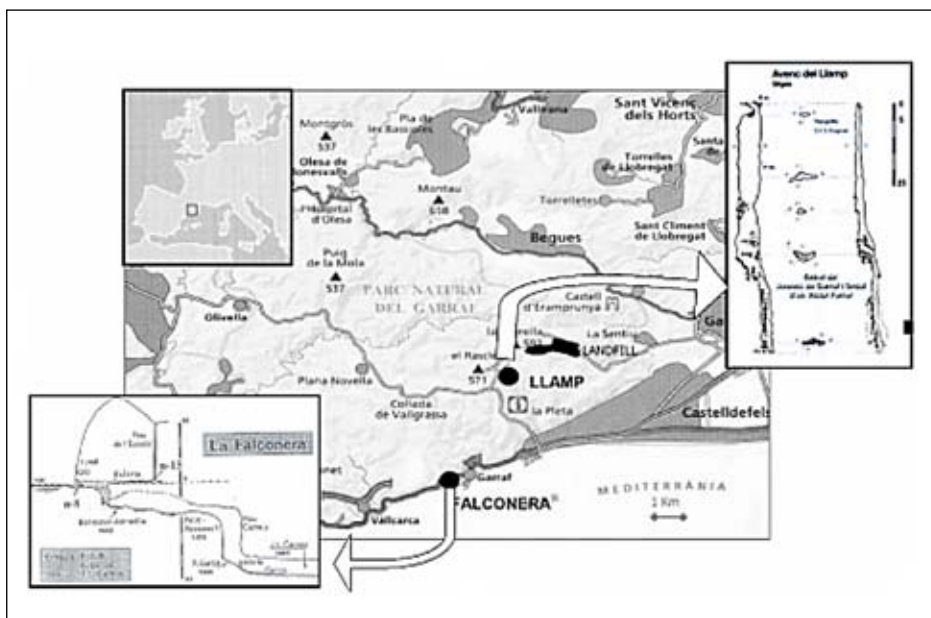
El treball s'ha dut a terme al massís de Garraf, on s'han desenvolupat dues campanyes de mostreig en paral·lel. S'han estudiat les relacions entre la composició atmosfèrica i l'aigua de degoteig a l'avenc del Llamp (zona vadosa) i el quimisme de l'aigua a la sortida del sistema (cova de la Falconera). L'evolució temporal d'aquests ambients aporta informació sobre com canvis succeïts en l'atmosfera exterior condicionen la disponibilitat de CO<sub>2</sub> i també les taxes de corrosió.

La zona d'estudi es localitza al sud-est del

massís de Garraf, on hi ha l'avenc del Llamp i la surgència de la Falconera:

- L'avenc del Llamp, de 70 m de profunditat, es troba a 476 msnm, al penedrà Campgràs-pla de Querol, on es concentra la major densitat d'avencs (foto 1). De 0 m a -30 m és constituït per un pou de secció ovalada, fruit de la coalescència lateral de dos pous fusiformes; a partir dels -30 m, el pou principal apareix parcialment obstruït per blocs i amb evidents formes de corrosió.

- La Falconera es troba a prop del poble de Garraf, a uns 800 m al sud-oest, i és el principal riu subterrani del massís (foto 2). Té un recorregut de 600 m i la seva profunditat, sota el nivell del mar, assoleix els 81 m (fins ara explorats). Funciona com a sobreixidor d'un riu que circula per sota el nivell del mar.



**Figura 1.** Localització de l'avenc del Llamp i de la cova de la Falconera.



**Fotos 1 i 2.** Entrada de l'avenc del Llamp (esquerra) i de la cova de la Falconera (dreta).

## Metodologia

Des de l'any 2002 fins al juliol de 2009, a l'avenc del Llamp s'han pres mesures de gasos, encara que els registres continus s'han estès des del juliol de 2008 fins al juliol de 2009. Els detectors utilitzats són específics per a la seguretat en el treball en espais confinats i s'han anat adaptant a les necessitats de l'estudi. La campanya va començar amb un multidetector de  $O_2$ ,  $CO$ ,  $SH_2$  i  $CH_4$ . Tanmateix, després d'evidenciar que els paràmetres significants de variació i seguiment eren el  $O_2$  i el  $CO_2$ , es van utilitzar dues parelles de detectors de  $CO_2$ - $O_2$  (marca i model, DRÄGER PAC 7000), que es van col·locar a -5 m i a -50 m (foto 3).



**Foto 3.** Estació a -50 m: detectors de  $O_2$ ,  $CO_2$  i estació meteorològica.

Tant a l'avenc del Llamp com a la cova de la Falconera es van prendre mostres hídriques per determinar paràmetres *in situ* i unes altres per fer una anàlisi completa dels elements majoritaris i de la traça. Amb les anàlisis hidrogeoquímiques fetes *in situ*, s'han determinat la conductivitat, la temperatura, el pH, l'alcalinitat, la duresa, els nitrits, els nitrats i el ferro.

## Resultats

### Caracterització de l'atmosfera confinada

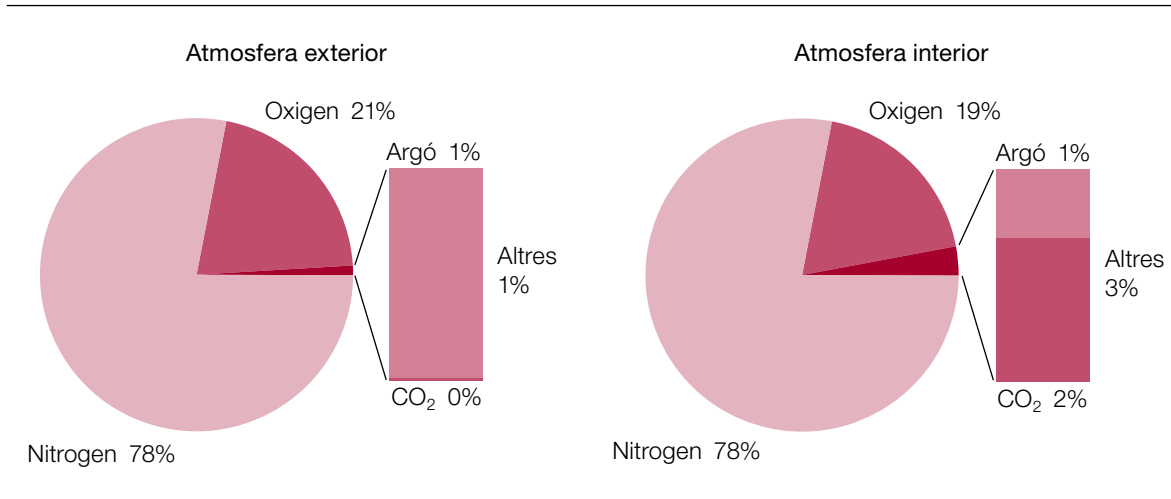
Els resultats han evidenciat la diferenciació entre l'atmosfera hipogea i l'exterior. La concentració mitjana de  $O_2$  és del 18,6% i la mostra del primer quartil és del 17,8%. Les fluctuacions són remarcables, tant en profunditat (hi ha un gradient negatiu en profunditat) com estacionals o fins i tot diàries. Conseqüentment, el percentatge de  $CO_2$  augmenta amb la disminució del  $O_2$  (figura 3), de manera que el seu valor mitjà és de l'1,1%, amb un percentil 75 de l'1,9% (taula 1). En cap de les sèries de mesuraments s'han detectat gasos d'origen antròpic o estrictament orgànic, com, per exemple el  $SH_2$  i el  $CH_4$ .

Amb la monitorització atmosfèrica, es disposa de sèries temporals de  $CO_2$  i de  $O_2$  a -5 m i a -50 m.

**Taula 1.** Resum estadístic dels resultats atmosfèrics del Llamp

	% $O_2$ (-5m)	% $O_2$ (-50m)	% $CO_2$ (-5m)	% $CO_2$ (-50m)
Període de mostreig	jul 08-jul 09	jul 08-jul 09	jul 08-feb 09	jul 08-feb 09
n (dies)	160	142	45	102
n (30 min)	7.071	6.329	1.734	4.490
mitjana (%)	20,0	18,6	0,7	1,1
percentil 25 (%)	19,4	17,8	0,0	0,0
percentil 75 (%)	20,9	19,2	1,1	1,9
desv. St. (%)	1,2	1,2	0,8	1,1
màx. (%)	20,9	20,9	3,9	4,0
mín. (%)	15,7	15,3	0,0	0,0

**Figura 2.** Comparació entre la composició atmosfèrica exterior i interior



La primera observació és l'empobriment considerable en oxigen respecte de l'atmosfera exterior i també l'increment important de diòxid de carboni (figura 2).

L'origen de la concentració anòmala del CO<sub>2</sub> pot trobar-se en la relació entre els percentatges de O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> i aporta indicis importants. Així s'aplica el CAI (Cave Air Index), fórmula proposada per Halbert (Smith 1998) amb l'expressió següent:

$$CAI = \frac{\%CO_2}{20,9 - \%O_2}$$

El CAI mitjà obtingut en el Llamp és de 0,8, cosa que indicaria un origen orgànic, encara que el percentatge baix de matèria orgànica en sòl i l'absència d'altres gasos orgànics (SH<sub>2</sub> i

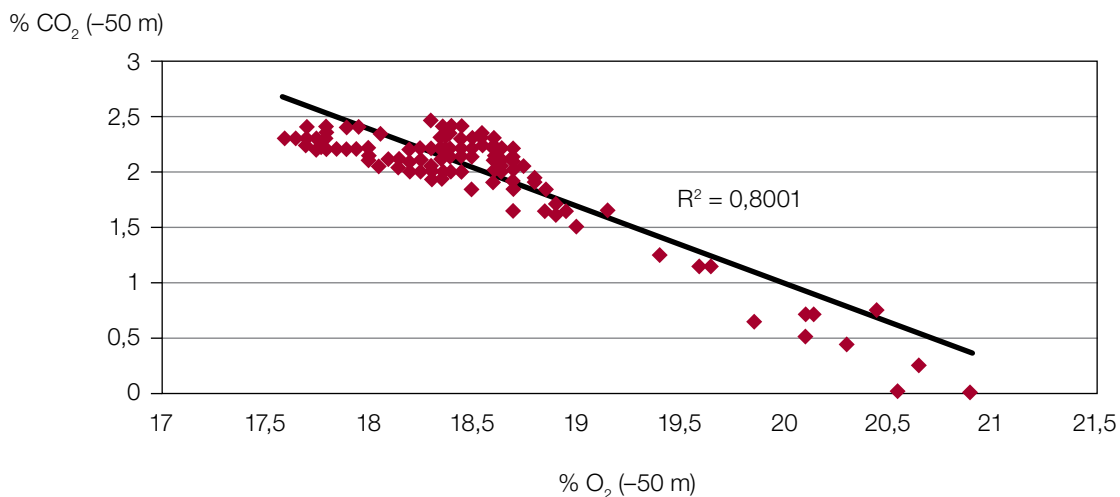
CH<sub>4</sub>) fa que sigui difícil atribuir-li un origen exclusiu. Essent reservats, la producció de CO<sub>2</sub> hauria de respondre a processos de precipitació calcítica, arrossegament meteòric i oxidació orgànica.

Les sèries del O<sub>2</sub> són més contínues i llargues, de manera que es decideix el seguiment d'aquest paràmetre per presentar conclusions sobre l'anàlisi espacial i temporal.

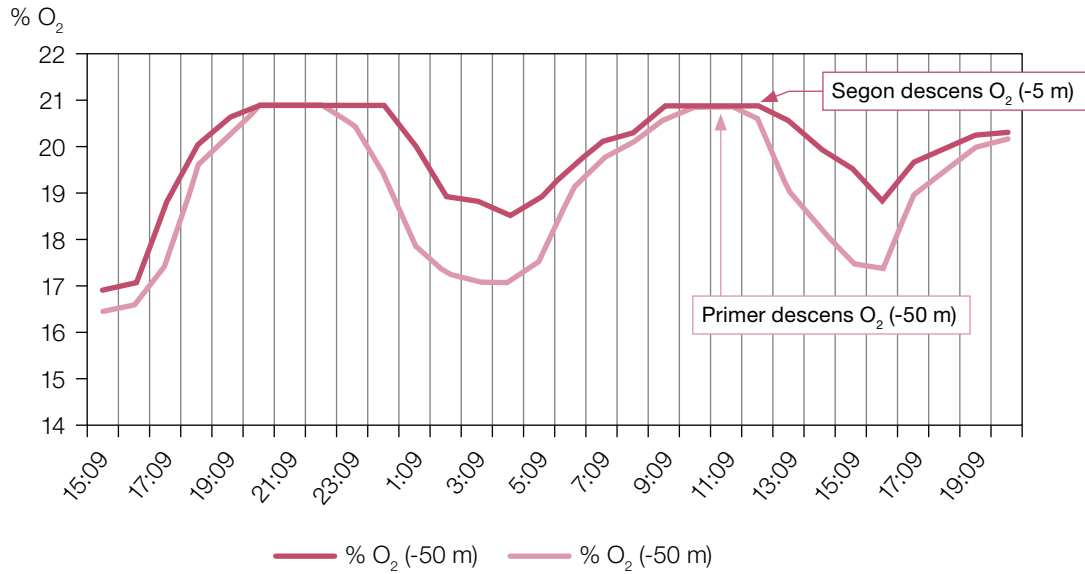
### Distribució vertical

En totes les sèries mesurades, s'ha detectat un empobriment del O<sub>2</sub> en profunditat, amb el consegüent increment en CO<sub>2</sub>. Tradicionalment, s'ha admès que la disposició basal del CO<sub>2</sub> responia a un procés d'estratificació per

**Figura 3.** Correlació lineal entre el % de O<sub>2</sub> i el % de CO<sub>2</sub>,  $r = 0,89$



**Figura 4.** Exemple de l'evolució del % de O<sub>2</sub> en l'estació a -5 m i a -50 m. S'observa com els descensos d'oxigen primer succeeixen a l'estació de -50 m i a les poques hores apareixen els descensos a l'estació de -5 m



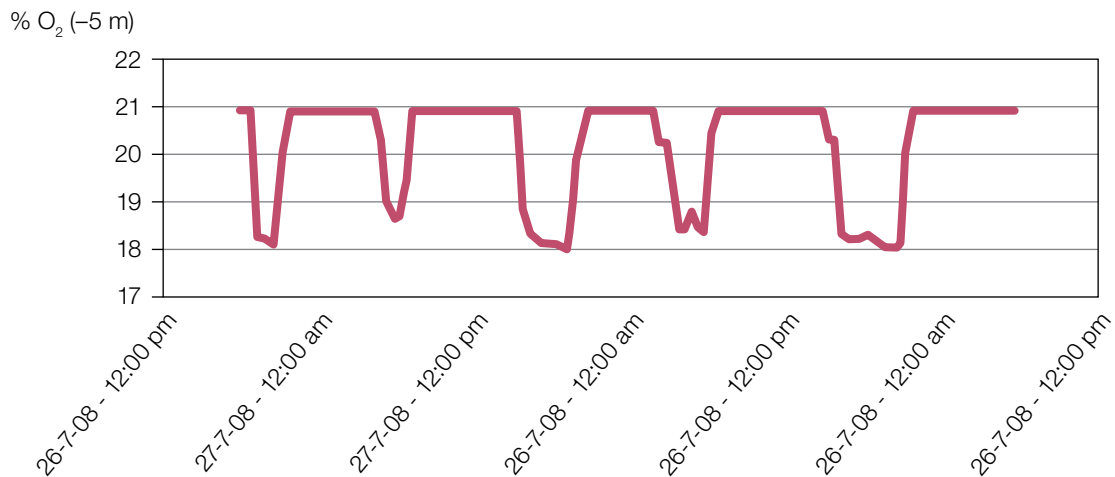
gravetat: el CO<sub>2</sub>, més dens que l'aire, es disposava a les zones baixes (PM del CO<sub>2</sub>, 44,0; i PM de l'aire, 28,8). S'ha volgut comprovar aquesta teoria, ja que alguns treballs anteriors (Gines *et al.*, 1987; Lleó i Bezanilla, 1968) només havien aportat registres de coves amb desenvolupament horitzontal. Així, la disposició vertical dels monitors ha permès observar on es produeixen primer els descensos del O<sub>2</sub> i s'ha constatat que les variacions sempre es donen primer a les zones baixes, i al cap de poques hores es manifesten a la part alta (figura 4). Es tracta d'un fun-

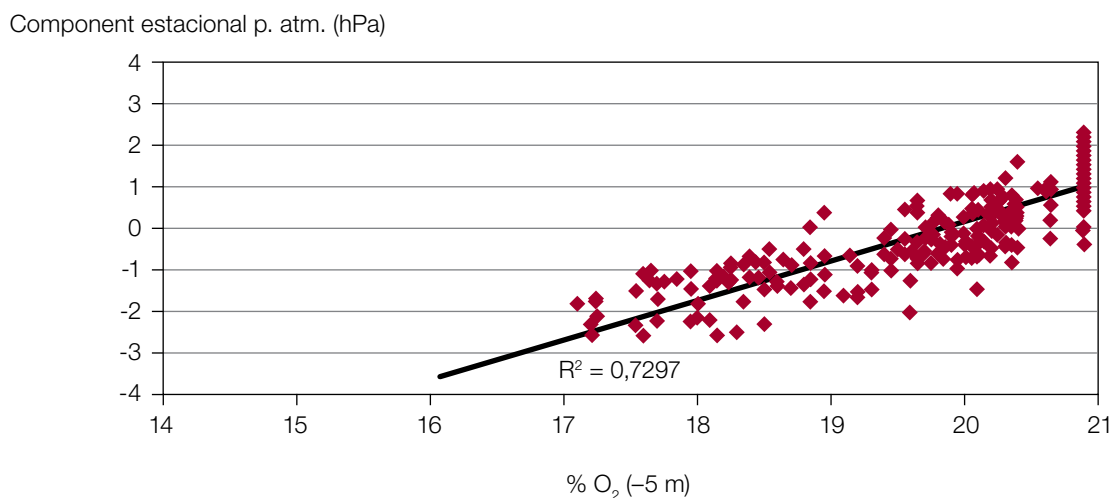
cionament que certament contradiu la tesi d'una sedimentació atmosfèrica.

### Anàlisi temporal

El senyal del percentatge de O<sub>2</sub> presenta un comportament repetitiu, amb dos mínims i dos màxims diaris. Els dos mínims tenen lloc a les 4 h i les 16 h, i els màxims, a les 10 h i les 22 h (figura 5). Aquest senyal es repeteix durant tot l'any. Amb aquesta premissa, s'ha cercat el paràmetre at-

**Figura 5.** Variacions diàries del percentatge de O<sub>2</sub> a -5 m



**Figura 6.** Gràfic de dispersió entre el percentatge de O<sub>2</sub> (-5 m) i la component estacional de la pressió atmosfèrica

mosfèric que dibuixa un espectre amb aquesta mateixa longitud d'ona. És la pressió atmosfèrica, pel procés natural de les mareas, la que mostra un espectre diari amb dos màxims i dos mínims, de la mateixa manera que ho fa l'espectre del O<sub>2</sub>, amb la qual cosa s'estableixen unes correlacions adequades entre ambdós paràmetres.

Per tal de poder comparar els registres de la pressió atmosfèrica amb el senyal del O<sub>2</sub>, es descompon el senyal de la pressió en la seva component mensual i diària.

Mitjançant el mètode de mitjanes mòbils, s'aconsegueix suavitzar tant les oscil·lacions horàries com les accidentals. La seva aplicació requereix haver de decidir prèviament el període en què es repeteix un cert patró de comportament. Per a l'extracció de la component diària per a la pressió atmosfèrica, se segueixen aquests passos:

- S'han calculat les mitjanes mòbils –s'han pres 12 h com a període d'agrupació, que correspon a la longitud d'ona de les mareas baromètriques (temps que transcorre entre dos màxims).
- Es calcula la component diària, que correspon a les diferències entre els valors mesurats i la mitjana mòbil.

Els índexs de correlació ( $r$ ) entre la component diària de la pressió atmosfèrica i el percentatge de O<sub>2</sub> a -5 m i a -50 m són superiors a 0,8 (durant el mes de febrer de 2009), amb la qual cosa es constata la dependència lineal entre ambdós paràmetres (figura 6).

D'aquesta manera, s'explica el comportament baroatmosfèric en els moments de baixes

pressions: l'aire carregat de CO<sub>2</sub> i disposat en el dens entramat de fissures a una pressió superior a l'exterior, migra als espais més grans i ocupa així les zones basals de l'avenc.

L'estudi dels correlogrames de O<sub>2</sub> a -50 m demostra la presència d'estacionalitat horària a l'hivern i la seva absència a l'estiu (figura 7).

## Relació hidroatmosfera

Hi ha una relació estreta entre el CO<sub>2</sub> gas, el CO<sub>2</sub> dissolt, el CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>, el CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> i el pH, la qual s'estableix en les interfases atmosfera-aigua vadosa i aigua vadosa-aigua freàtica.

## Relació atmosfera-aigua vadosa

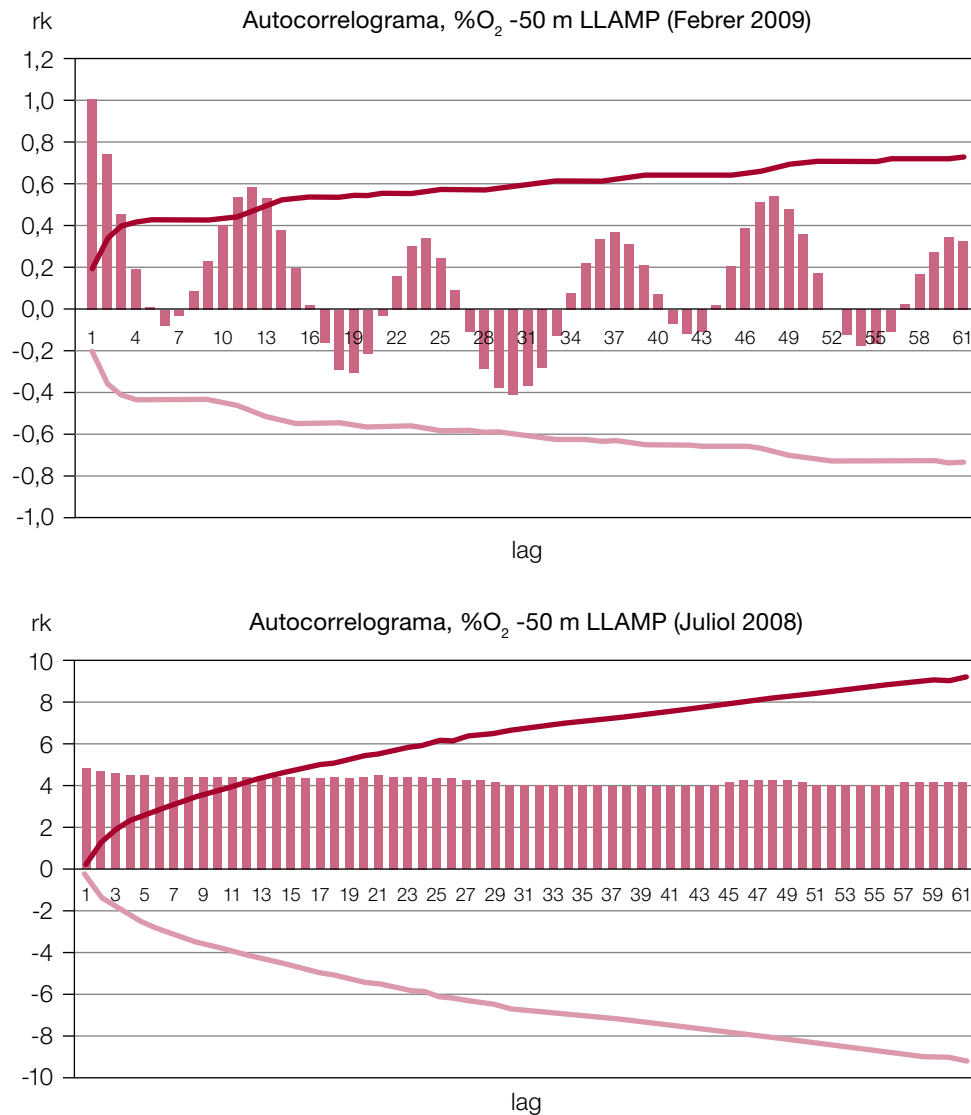
A la zona vadosa es produeixen els efectes atmosfèrics i s'estableixen les interaccions atmosfera-aigua vadosa. Mitjançant la fórmula de Henry, es relaciona el CO<sub>2</sub> gas amb el CO<sub>2</sub> dissolt en aigua.

$$\text{CO}_2 \text{ en aigua (mg/l)} = 1.964 \times \text{PCO}_2 \text{ (atm)} \times A$$

en què  $A$  és un coeficient que depèn de la temperatura.

Al mateix temps, la quantitat de CO<sub>2</sub> dissolt a l'aigua condiona el poder erosiu o incrustant (figura 8). A la pràctica, el caràcter agressiu o incrustant de l'aigua es refereix a la precipitació del CaCO<sub>3</sub>. Per determinar el tipus de compor-

**Figura 7.** La representació dels diagrames de correlació d'hivern i estiu verifica el diferent comportament atmosfèric de la zona basal del Llamp. A l'hivern, els moviments convectius de l'aire cavernós homogeneïtzen l'atmosfera interna, mentre que a l'estiu l'atmosfera es presenta estratificada i s'accentuen considerablement les diferències entre la composició de la part superior i la inferior



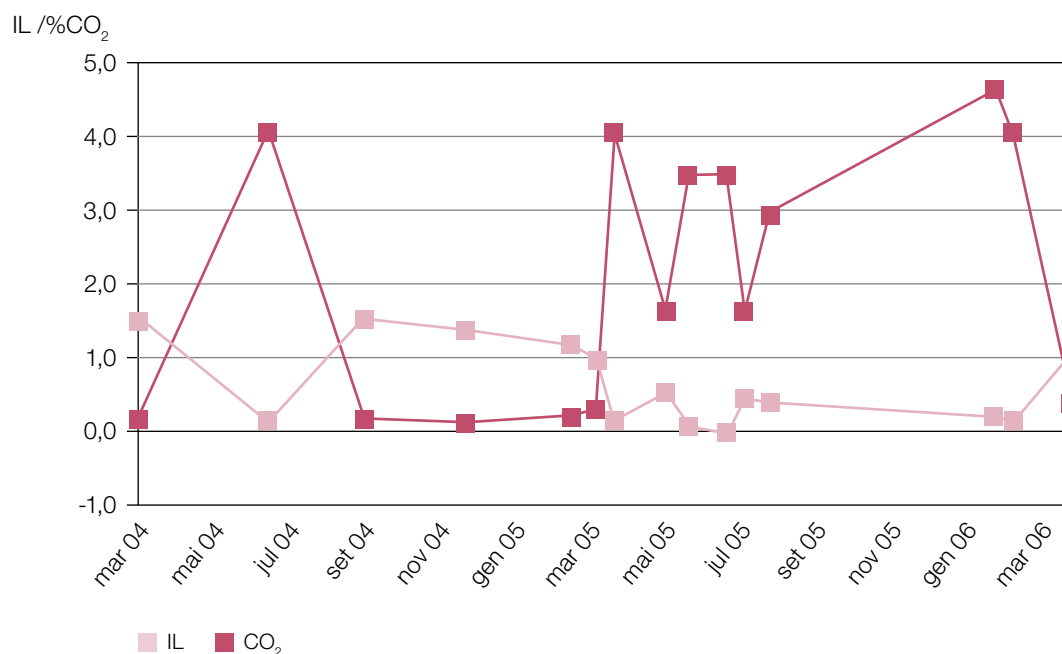
tament de l'aigua, s'utilitza la diferència entre el pH real i el pH teòric, altrament coneguda com a *índex de Langelier*.

Els valors obtinguts a -50 m es resumeixen de la manera següent:

Primer quartil:	0,12	Aigua en equilibri, moderadament agressiva.
Tercer quartil:	0,57	Aigua incrustant: es produeix precipitació calcítica.
Mitjana:	0,44	Aigua incrustant; es produeix precipitació calcítica.

La verificació d'episodis moderadament agressius, a -50 m, es relaciona amb les morfologies del Llamp: a les zones altes (a prop de les entrades), es localitzen formes reconstructives (*foto 4*), mentre que a les zones baixes apareixen formes de dissolució (*foto 5*). Aquestes morfologies són comunes als avencs d'aquest sector del massís. D'aquesta manera, es demostra com la dinàmica atmosfèrica condicionarà la disponibilitat de CO<sub>2</sub> i les morfologies endocàrstiques.

**Figura 8.** Relació IL -% CO<sub>2</sub>. Els màxims de CO<sub>2</sub> corresponen als mínims de l'IL, de manera que com més CO<sub>2</sub> hi ha, més agressivitat presenta l'aigua



**Foto 4.** Formes reconstructives a -30 m.



**Foto 5.** Formes de dissolució a -50 m.

### Aigua vadosa-aigua freàtica

L'alcalinitat és un paràmetre clàssic en l'estudi de la xarxes càrstiques, ja que aporta informació sobre la mineralització de la surgència, de manera que pot funcionar com un indicador del camí que s'ha seguit. A partir de l'evolució de l'alcalinitat, s'observa que a cada un dels cabals màxims li correspon els valors mínims d'alcalinitat (figura 9). Aquesta situació indica una incidència important de les aigües d'infiltració ràpida (poc mineralitzades) i confirma un desenvolupament important de les xarxes d'in-

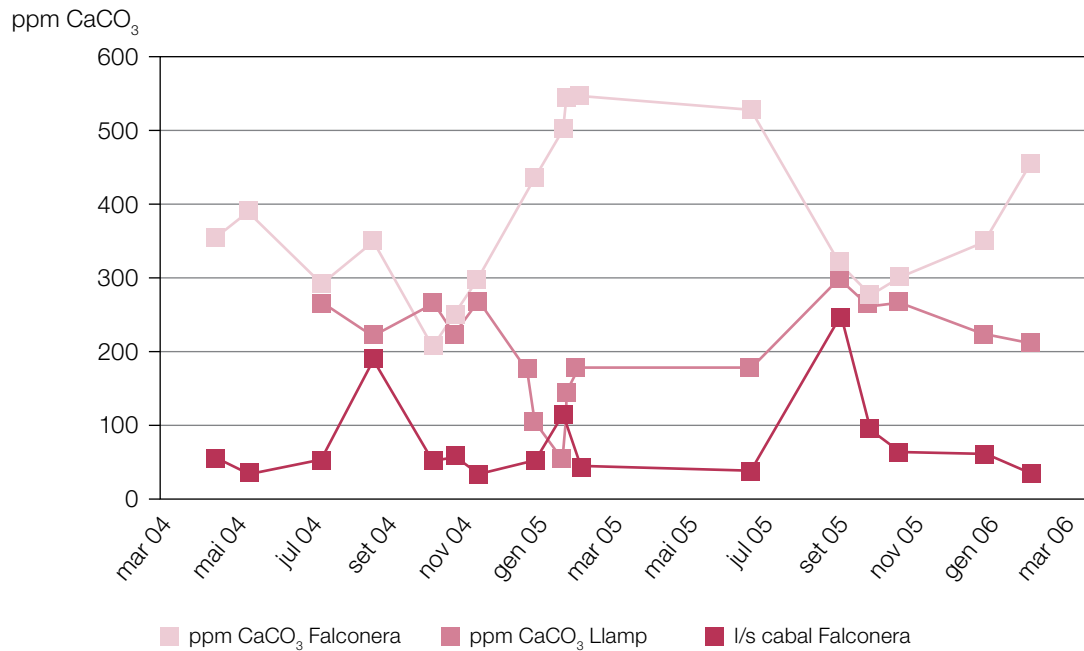
filtració. L'estudi d'aquest paràmetre aporta informació sobre la taxa de corrosió i de CO<sub>2</sub> mobilitzat anualment.

## Síntesi i interpretació

### Model espeleoatmosfèric

A partir de l'anàlisi de les dades, s'han posat de manifest les relacions següents: empobriment en profunditat de O<sub>2</sub>, relació entre les aigües parietals agressives i les concentracions eleva-



**Figura 9.** Relació entre l'alcalinitat (en ppm CaCO<sub>3</sub>) del Llamp i la Falconera**Foto 6.** Mesura del cabal a la Falconera.

des de CO<sub>2</sub>, relació entre l'atmosfera exterior i la interior, i sensibilitat entre els valors baixos d'alcalinitat al Llamp i els valors alts a la Falconera. Totes aquestes relacions queden resumides en els processos següents:

1. Producció de CO<sub>2</sub>. L'estudi de l'origen del CO<sub>2</sub> ha de ser objecte exclusiu de treballs isotòpics. Tot i així, encara es disposa de certs in-

dicadors, com, per exemple, la relació entre els percentatges de O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> o índex cavernós (CAI), que revelarien un origen mixt, fruit del metabolisme orgànic i de la producció per precipitació calcítica (Smith, 1998).

2. Difusió de CO<sub>2</sub> en espais grans, afavorida en moments de baixes pressions atmosfèriques. Amb l'anàlisi temporal del percentatge de O<sub>2</sub>, s'ha extret la component mensual i l'horari i s'han establert bones correlacions amb el comportament de la pressió atmosfèrica, encara que no es desestima el paper que té la temperatura en l'homogeneïtzació o diferenciació de l'aire cavernós. Amb la disminució de la pressió atmosfèrica a l'exterior, l'aire de la cavitat s'escaparà per totes les esquerdes, mentre que si a l'exterior hi ha una pressió alta, s'originarà una entrada massiva d'aire que permetrà equilibrar el sistema. Es tracta del model de barocirculació, característic de cavitats amb boques petites, que provoca l'efecte que les cavernes respirin i que dependrà de les condicions de pressió a l'exterior. Aquestes exhalacions de CO<sub>2</sub> es manifesten des de l'interior cap a l'exterior, com s'ha comprovat amb la localització de les estacions a diferents profunditats. Així doncs, amb la idea d'una producció interna de CO<sub>2</sub>, els plantejaments sobre la incorporació de CO<sub>2</sub> des de l'exterior i la seva deposició per gravetat no semblen obvis.

3. Diferenciació o homogeneïtzació atmosfèrica. L'equilibri tèrmic entre l'exterior i l'interior condiona la diferenciació atmosfèrica. De forma general, a l'estiu es produeix una estratificació de l'aire, de manera que a les zones baixes s'observa un augment de  $\text{PCO}_2$  i del poder agressiu de l'aigua. Quan la temperatura exterior supera els 25 °C i la interior, els 15 °C i no hi ha corrents d'aire, s'afavoreix una diferenciació atmosfèrica. Els descensos de pressió (entrades de borrasques i les marees) provoquen una ràpida entrada d'aire carregat de  $\text{CO}_2$ , que penetra primer per les parts profundes. En aquest punt, l'aire pot presentar fins a un 3% de  $\text{CO}_2$ , enriquiment que respon al fet que les entrades d'aire ric en  $\text{CO}_2$  són més ràpides que els processos d'homogeneïtzació atmosfèrica.

A l'hivern, les fluctuacions cícliques es presenten amb més amplitud. És aleshores que les dispersions dels senyals són més accentuades i que les diferències entre els percentatges de  $\text{O}_2$  de la zona superior i de la inferior queden reduïdes. L'homogeneïtzació de l'atmosfera s'explica per un efecte tèrmic convectiu, ja que en aquesta estació la disposició tèrmica entre l'aire interior calent i l'exterior fred facilita ràpides homogeneïtzacions de l'aire cavernós.

Tots aquests processos descrits permeten definir aquest model com a barotèrmic.

### El carst del Garraf com a embornal de $\text{CO}_2$

És conegut que l'*input* total de  $\text{CO}_2$  per activitats humanes és de l'ordre de 7 Gt de  $\text{CO}_2$  a l'any. Només prop de 3,4 Gt de  $\text{CO}_2$  s'acumulen a l'atmosfera, la qual cosa significa que hi ha un engolidor atmosfèric de  $\text{CO}_2$  de 3,6 Gt de  $\text{CO}_2$  a l'any. Encara hi ha molts dubtes sobre on es localitzen els embornals actuals i en quina proporció es produeix el repartiment. Segons Liu *et al.*, (2000), la contribució dels carbonats a la fixació del  $\text{CO}_2$  s'estima entre 0,11 i 0,41 Gt a l'any, una quantitat gens menyspreable en el model del cicle global del carboni.

Per a la quantificació de la calcita mobilitzada a la conca de la Falconera, es disposa de les dades següents:

Àrea de conca	25 km <sup>2</sup>
Densitat de la roca calcària	2,7 g/cm <sup>3</sup>

Cabal base	300 l/s
Alcalinitat (valor per al cabal base)	500 ppm $\text{CaCO}_3$

Les dades d'alcalinitat obtingudes a la surgència de la Falconera indiquen la quantitat de bicarbonat dissolt en aigua, el qual és producte de dissolució del  $\text{CaCO}_3$ . D'aquesta manera, amb la correcció pertinent per la barreja d'aigua marina, i tenint en compte el volum d'aigua mobilitzada a l'any, s'estimen les tones de  $\text{CaCO}_3$  dissoltes. Aquest valor s'expressa en mm/Ka (mil·límetres de sòl dissolt en 1.000 anys) i s'obté una taxa de denudació d'entre 50 i 100 mm/Ka.

Aquesta taxa sembla superior als valors esperats segons White i Yoshimura (Liu *et al.*, 2000), els quals proposaven un model general en el qual la denudació era funció directa de la precipitació útil i corresponia al sector estudiat (600 mm) una taxa entre 30 i 40 mm.

De manera senzilla, seguint la fórmula d'equilibri dels carbonats, aquests resultats d'alcalinitat es poden expressar en  $\text{CO}_2$  fixat, de manera que segons l'alcalinitat mitjana i el volum d'aigua mobilitzada a l'any es capturen 1.700 Tn de  $\text{CO}_2$ , quantitat equivalent a la producció d'unes 300 persones (Uriarte, 2003) –les emissions per càpita a Europa se situen entre les 2 i les 5 Tn de  $\text{CO}_2$ /any.

El treball realitzat constata que les interaccions entre l'atmosfera, l'aigua i el massís són una expressió de l'equilibri *buffer*.

### Bibliografia

BOURGES, F.; MANGIN, A.; D'HULST, D. (2001): «Le gaz carbonique dans la dynamique de l'atmosphère des cavités karstiques : l'exemple de l'Aven d'Orgnac (Ardèche)». *Earth and Planetary Sciences*, núm 333: p. 685-692.

GINÉS, A.; HERNÁNDEZ, J.; GINÉS, J.; POL, A. (1987). «Observaciones sobre la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de la Cova de les Rodes (Pollença, Mallorca)». *Endins*, núm. 13; p. 27-38.

LEÓN, J.; BEZANILLA, J.D. (1968): «Los gases y su detección». *Cuadernos de espeleología*, núm. 3; p. 107-112.

LIU, Z.; YUAN, D.; ÉL, S.; ZHAO, J. (2000): *Contribution of Carbonate Rock Weathering to the Atmospheric  $\text{CO}_2$  Sink*. <[www.karst.edu.cn/carbon/rock.htm](http://www.karst.edu.cn/carbon/rock.htm)>

SMITH, G.K. (1998): «Foul air in limestone caves and its effect on cavers». *ASF 22nd Biennial Conference proceedings 1999*; p. 48-58.

URIARTE, A. (2003): *Historia del clima de la Tierra*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.