

Intercambios de CO₂ suelo/cavidad en un sistema kárstico somero (Cueva de Altamira, Cantabria)

S. Cuezva¹, S. Sánchez-Moral¹, J.C. Cañaveras², J. Lario³ y V. Soler⁴

1 Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, 28006 Madrid. scuezva@mncn.csic.es

2 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Alicante, Unidad Asociada CSIC-UA, 03080 Alicante.

3 Depto. Ingeniería Geológica y Minera, Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, UCLM, 45071 Toledo.

4 Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, CSIC, Tenerife.

ABSTRACT

The monitoring system installed in Altamira Cave (Cantabria) is providing us a continuous record of microenvironmental data, for both cave atmosphere and air trapped in soil (air temperature, atmospheric pressure, ²²²Rn, CO₂ concentration). The karst system has a great importance in the global carbon cycle, not only for long-term cycles, but also for short-term ones. The CO₂ fluxes between the hypogean atmosphere and the external soil air are controlled by differences of temperature and density of air, changes in atmospheric pressure and rainfall regime. The local meteorological conditions and the geometry of the cavity rule CO₂ exchanges between cave atmosphere and air trapped in soil. A temperature inversion ($T_{int} > T_{ext}$) and a great increase and stabilization in CO₂ levels takes place in Altamira Cave in autumn. Therefore, during this time the cave acts as a sink of atmospheric CO₂.

Key words: CO₂ flux, karst, hypogean atmosphere, carbon cycle, Altamira Cave.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El ciclo global del carbono ha sido tratado y discutido previamente por numerosos autores (Sundquist y Broecker, 1985; Berner y Berner, 1987) diferenciándose ciclos de corto (respiración), medio (formación de carbón) y largo período (procesos de meteorización de rocas). Desde un punto de vista estrictamente geológico, los sistemas kársticos pueden actuar como reservorios/sumideros o como fuentes de CO₂ a la atmósfera dentro de los ciclos de largo período, pero trabajos recientes han demostrado que dichos sistemas pueden tener una gran importancia en el ciclo del carbono de medio y corto período (Yuan 1997). Recientes estudios realizados en varias cuevas del área mediterránea (Hoyos *et al.* 1998; Sánchez-Moral *et al.* 1999 y Bourges *et al.* 2001) han detectado altas concentraciones de CO₂ y fuertes oscilaciones de corto período en la zona vadosa superior de karst someros (>6.000 ppm), controladas por variaciones en las condiciones atmosféricas externas (presión atmosférica, diferencia temperatura exterior/interior del sistema, etc.). Villar *et al.* (1985) y posteriormente Sánchez-Moral *et al.* (2000), en seguimiento del contenido de CO₂ en el aire de la Sala de Polícromos de Altamira, obtuvieron un valor medio anual de 3500 ppmv, indicando la existencia de importantes variaciones estacionales en la concentración de CO₂ del aire: altos contenidos en invierno y bajos en verano con fuertes variaciones en los meses finales de primavera e iniciales de otoño. Para poder observar y cuantificar los flujos y ciclos de intercambio de CO₂ de

corto período entre una cueva y el suelo exterior, se llevó a cabo una monitorización en continuo de varios parámetros ambientales en la Cueva de Altamira (Cantabria). El sistema empleado para el presente estudio incluye sensores de temperatura del aire interior y exterior, presión atmosférica, Radón, CO₂ del aire de la cueva y CO₂ del aire del suelo exterior. Este último se modificó específicamente, con incremento de rango (hasta 10.000 ppmv) e inserción en un intercambiador cerámico trabajando en circuito cerrado para evitar daños por humedad. Los datos de precipitaciones proceden de la estación meteorológica del INM situada en el exterior de la propia cueva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se exponen los resultados del primer periodo de registro (9/10/1997 a 8/12/1997) de las concentraciones de CO₂ del aire del suelo, en paralelo con el del CO₂ del interior de la cueva (Sala de Polícromos) (Fig.1). Durante esta etapa, con una importante tasa de infiltración de agua, la tasa de humedad permanece en saturación debido a la recarga hídrica del sistema y se observa una fuerte recarga de CO₂ en el sistema kárstico alcanzando la Pco₂ en el aire interior valores de 10^{-2,33} bar. Este fenómeno coincide con los valores máximos anuales de temperatura del aire en la atmósfera interior y un progresivo descenso de la temperatura media exterior que provoca una inversión térmica ($T_{int} > T_{ext}$) durante los periodos: 28 oct. - 2 nov., 7 - 13 nov. y 18 nov. - 8 dic.

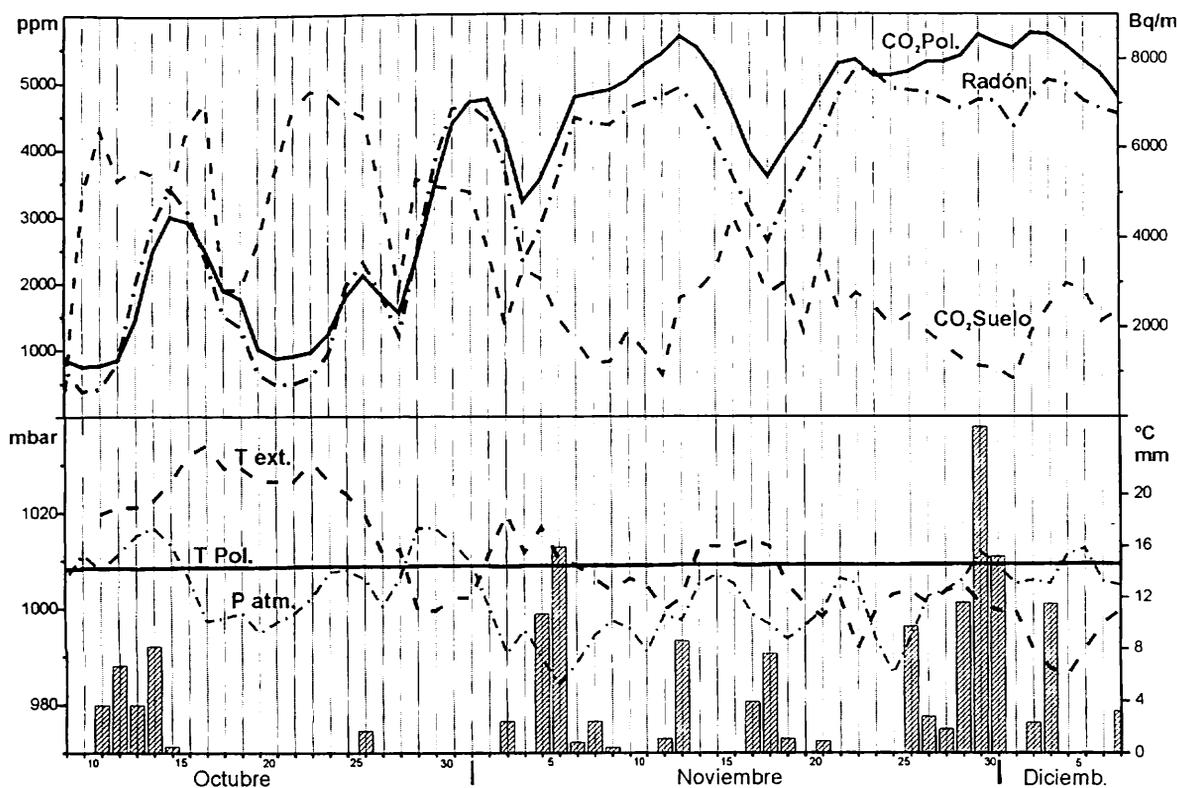


FIGURA 1. Parámetros microclimáticos del interior de la Cueva de Altamira y del suelo exterior (medias diarias del 9/10/97 al 8/12/1997). Concentración de CO_2 y ^{222}Rn en el aire de la Sala de Polícromos y concentración de CO_2 en el aire del suelo exterior (arriba). Temperatura en el exterior y en la Sala de Polícromos, presión atmosférica y precipitaciones (abajo).

Cálculo de las densidades del aire

La diferencia de densidades entre el aire del interior de la cavidad y el aire exterior es el principal factor gobernante de la dirección del flujo del aire y es, por tanto, de gran utilidad para el estudio de los flujos de CO_2 . Las densidades del aire, tanto interior como del suelo exterior, se calcularon en base a la fórmula deducida por Massen *et al.* (1998), válida para temperaturas moderadas (Fig. 2). La densidad del aire depende principalmente de la presión y la temperatura y en menor medida de la humedad. En los cálculos se han empleado valores medios diarios. La humedad relativa en el interior de la cueva permanece en saturación a lo largo del ciclo anual (>95%). Para la humedad relativa del suelo exterior consideramos un promedio del 80% y un 100% en los momentos de lluvia. La diferencia de densidades del aire es positiva si el aire en la cueva es más denso que el aire fuera y, si este fuese el único factor dominante, implicaría una dirección del flujo de CO_2 hacia el exterior.

Dinámica del CO_2 de la atmósfera interior y del suelo: parámetros condicionantes

Durante una primera etapa, hasta el 27 de octubre, la temperatura en el exterior de la cueva permanece por encima de la del interior ($T_{\text{ext}} > T_{\text{int}}$) y el aire es más denso

dentro de la cueva. En este periodo la dinámica del CO_2 en el interior está dominada por la presión y se basa en un mecanismo de difusión. Los incrementos en la presión atmosférica provocan aumentos en la concentración del CO_2 en el interior de la cueva, con alrededor de un día de retardo entre las variaciones en la presión y la respuesta en la concentración de CO_2 . Esto, además, puede verse incrementado por efecto de las precipitaciones, que incorporan con rapidez CO_2 del suelo al interior de la cueva al aumentar la tasa de infiltración. En la concentración de CO_2 del suelo se observa un efecto inverso, con clara disminución inicial por efecto de las lluvias y una rápida recuperación al cesar éstas, que además coincide con un aumento en la temperatura exterior. Cuando la temperatura exterior es elevada, la actividad biológica del suelo es mayor, con lo que se incrementa el contenido en CO_2 del aire del suelo.

Durante los periodos antes indicados (28 oct.-2 nov.; 7-13 nov.; 18 nov.-8 dic.), en los que se produce la inversión térmica ($T_{\text{int}} > T_{\text{ext}}$), el CO_2 en el aire del suelo es generalmente mucho menos abundante que en el aire del interior de la cueva. Las temperaturas en el exterior han disminuido en esta época del año y, por tanto, la actividad biológica se reduce mucho con lo que el CO_2 del aire del suelo también baja. En el interior de la cueva hay un proceso de estancamiento en el CO_2 , que se ve también en el contenido en ^{222}Rn de la atmósfera interior. La densidad del aire es mayor

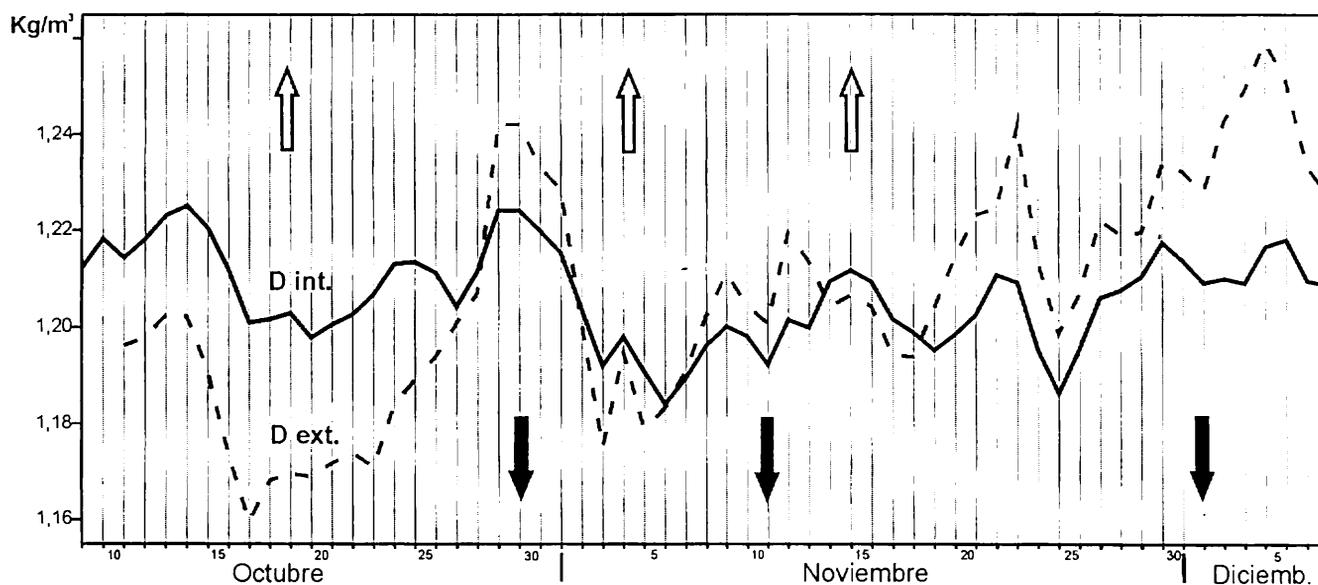


FIGURA 2. Densidad del aire del interior de la cueva y del aire del suelo exterior, calculadas en base a la fórmula deducida por Massen (1998). Las flechas indican las direcciones de flujo en función de la diferencia de densidades (blanca: flujo hacia el exterior; negra: flujo hacia el interior).

en el exterior y se produce un flujo de CO₂ desde la atmósfera exterior hacia el interior de la cueva, a través del suelo. Ambos, CO₂ y radón, se encuentran en concentraciones muy elevadas (poca ventilación) y bastante estables. Kies y Massen (1997), describen este mismo patrón para cuevas cuyas galerías están por debajo de la entrada y no tienen ninguna otra conexión con el exterior: aumento del estancamiento (baja ventilación) durante el invierno, con altas concentraciones de Radón en los periodos más fríos. Así, el patrón de circulación del aire también depende de la geometría de la cavidad, la posición de las entradas y salidas con relación a las galerías de la cavidad.

Entre el 2 y el 6 de noviembre hay recuperación de la temperatura exterior que pasa a estar de nuevo por encima de la interior. La densidad del aire en Polícromos pasa a ser mayor y se produce un flujo de CO₂ hacia el exterior que también se ve reflejado en el radón, y la diferencia en la concentración CO₂ interior-suelo se reduce mucho. Lo mismo sucede entre el 13 y el 17 de noviembre pero en este caso y debido a las lluvias la reducción de la concentración de CO₂ en el aire del interior coincide con disminución del contenido en CO₂ en el aire del suelo.

CONCLUSIONES

Para llevar a cabo el estudio de los flujos de intercambio de CO₂ de la cavidad con la atmósfera exterior en un sistema kárstico somero es fundamental disponer de un sistema de adquisición de datos microambientales que permita un seguimiento en continuo, detallado y de alta precisión de los parámetros microambientales. Para la época del año en estudio (octubre-diciembre), las variaciones de corto

periodo en los flujos de intercambio de CO₂ suelo-cavidad se producen como respuesta a variaciones en condiciones atmosféricas externas (cambios en la presión atmosférica, diferencias de temperatura cueva-superficie, ...) en base a mecanismos de difusión. La geometría de la cueva, con una sola entrada por encima de las galerías, condiciona el comportamiento estacional de la cueva, con estancamiento de grandes concentraciones de CO₂ en el interior de la cueva al llegar el otoño y producirse la inversión térmica. El contenido en CO₂ del aire dentro de la cavidad pasa a ser muy elevado, mientras en el suelo exterior es muy bajo. Así, la cueva durante esta época actúa como reservorio/sumidero de CO₂ atmosférico.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el proyecto MCYT BTE2002-04492-C02-02, el Convenio de Colaboración CSIC-Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, y una beca I3P de Postgrado del CSIC (S. Cuezva). Es una aportación al Grupo Español del IGCP 448 y a INQUA Commission on Carbon.

REFERENCIAS

- Berner, E.K., Berner, R.A. (1987): *The global water cycle: geochemistry and environment*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 398 p.
- Bourges, F., Mangin, A. y d'Hulst, D. (2001): Le gaz carbonique dans la dynamique de l'atmosphère des cavités karstiques: l'exemple de l'Aven d'Orgnac (Ardèche). *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences de Paris, Sciences de la Terre et des Planets*, 333: 685-692.

- Kies, A. y Massen, F. (1997): Radon Generation and Transport in Rocks and Soils. En: *The Moestroff Cave. A Study on the Geology and Climate of Luxembourg's Largest Maze Cave* (F. Massen, Ed.). Centre de Recherche, Centre Universitaire Luxembourg, 159-183.
- Hoyos, M., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S. y Sanz-Rubio, E. (1998): Microclimatic characterization of a karst system. Human impact on micro-environmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). *Environmental Geology*, 33 (4): 231-242.
- Massen, F., Dusar, M., Loy, W. y Vandenberghe, N. (1998): Cave volume computed on the behaviour of a blowing well (Tournai basin, W. Belgium). *Terra Nova*, 10 (3): 131-135.
- Sánchez-Moral, S., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sanz-Rubio, E., Van Grieken, R. y Gyssels, K. (1999): Inorganic deterioration affecting Altamira Cave. Quantitative approach to wall-corrosion (solutional etching) processes induced by visitors. *Science of the Total Environment*, 243/244: 67-84.
- Sánchez-Moral, S., Soler, V. y Cañaveras, J.C. (2000): Caracterización microambiental en sistemas kársticos someros (Cueva de Altamira, Cantabria). *Geotemas*, 1 (3): 345-350.
- Sundquist, E.T. y Broecker, W.S. (1985): The carbon cycle and atmospheric CO₂: natural variations Archean to present. *Geophysical Monograph Series*, 32: 1-59.
- Villar, E., Fernández, P.L., Quindos, L. S., y Soto, J. (1985): Natural temporal evolution of the CO₂ content in the air of the "Paintings Chamber" at Altamira Cave. *NSS Bulletin* (47), 12-16.
- Yuan, D. (1997). The Carbon Cycle in Karst. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementbände, Band 108: 91-102.