

Análisis geoambiental en medios hipogeos

Laboratorio de Petrología aplicada

Sergio Sánchez-Moral, Angel Fernández-Cortés, Elena García-Antón

Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC, José Gutiérrez Abascal, 2. 28006-Madrid.

David Benavente, Soledad Cuezva, Juan C. Cañaveras

Laboratorio Petrología Aplicada UA-CSIC, Dpto. CC. de la Tierra y Medio Ambiente, Univ. Alicante.

Introducción

Los coordinadores de los dos grupos de trabajo localizados actualmente en dos instituciones independientes (CSIC, Universidad de Alicante) se iniciaron científica y profesionalmente en el equipo de investigación de Geología - Geoquímica - Microclima aplicados a la Conservación del Patrimonio que se formó bajo la dirección de Manuel Hoyos Gómez a principios de la década de los 90. En el campo de la Conservación del Patrimonio, las investigaciones de ese grupo se centraron especialmente en la protección del arte rupestre y actualmente se enfocan al estudio integrado de ambientes subterráneos (cuevas, catacumbas, túneles, etc.) y de los procesos de deterioro del patrimonio que albergan. Los proyectos en los que los dos grupos trabajan habitualmente en estrecha relación incluyen datos de los parámetros climáticos y microclimáticos que caracterizan los sitios de estudio, de las características mineralógicas, geoquímicas y petrofísicas de los soportes y de las aguas de infiltración, y de los aspectos geomicrobiológicos de la interacción entre microorganismos y los diferentes sustratos existentes (rocas, materiales de construcción, espeleotemas, etc.). Actualmente los resultados de los estudios se integran en colaboración con la empresa Geomnía Natural Resources SLNE en sistemas de información geográfica que permiten su constante y futura revisión y actualización, así como conocer la respuesta del sistema estudiado a las modificaciones de sus condiciones previas.

La experiencia previa de los equipos de los dos grupos incluye el estudio de algunas de las más relevantes cuevas y abrigos rupestres con arte prehistórico de la Península Ibérica y de las Islas Canarias. Desde los años 90 y en muchas ocasiones en colaboración con el grupo CEMAPA-CSIC y el grupo de Microbiología y Patrimonio Cultural se han llevado a cabo estudios de larga duración en los principales abrigos con arte rupestre de Andalucía (Tajo de las Figuras, Atlanterra, Letreros, Graja, Encajero, Peñas Cabrerías) (Hoyos et al., 1996a; Sánchez-Moral et al., 1996) y Castilla la Mancha, como Villar del Humo (Díez-Herrero et al., 2006) y en diferentes cuevas españolas como la Cueva de Tito Bustillo, Candamo, Ardales, Zuheros, Santimamiñe, El Reguerillo, Gáldar y especialmente en la Cueva de Altamira, donde se trabaja en esta línea desde 1996. En esta misma línea se han llevado a cabo estudios específicos de diagnóstico y prevención de daños por actividades antrópicas en varias cuevas con arte rupestre del Principado de Asturias (La Loja, El Buxu, El Pindal), de Cantabria (Santián, Cobrante, Urdiales) y del País Vasco (Arenaza, Altxerri, Ekain, Ventalaperra). Asimismo, se han realizado trabajos similares en la Grotta dei Cervi (Italia) que constituye uno de los principales ejemplos de ese país dentro de las cuevas kársticas con arte rupestre neolítico. En el período 2000-2003 participamos en un proyecto europeo para el estudio de las condiciones de

conservación de las Catacumbas Romanas de Domitilla y San Calixto. Recientemente hemos colaborado en el estudio del deterioro de las Criptas y Catacumbas de St. Agatha, St. Paul's y Abbattija tad-Dejr en Malta (Zammit et al., 2011).

En la actualidad, además de continuar monitorizando la cueva de Altamira, coordinamos los trabajos geoarqueológicos en la Cueva de El Sidrón (Asturias) (de Torres et al., 2010; Santamaría et al., 2010), supervisamos las modificaciones que se están haciendo derivadas de nuestros estudios del período 2007-10 para la conservación de la Necrópolis de Carmona (Sevilla) (Benavente et al., 2011), mantenemos la monitorización microambiental de la Cueva de Doña Trinidad (Ardales, Málaga), Cueva de Castañar de Íbor (Cáceres) y Cueva del Canelobre (Alicante) (Fernández-Cortés et al., 2009a, 2009b, 2011). Asimismo y, en colaboración con el grupo de Microbiología y Patrimonio Cultural del IRNAS-CSIC, participamos en un proyecto bilateral con el CNR (*Technology and biotechnology for the conservation of hypogean cultural heritage*) para el estudio de las necrópolis etruscas de Tarquinia y Cerveteri y otro con *Institute of Soil Biology (Czech Republic)* para el estudio de la dispersión de comunidades fúngicas en cavidades kársticas. También participamos en el Proyecto Djehuty, cuyos objetivos son la excavación, restauración y estudio de las tumbas de Djehuty y de Hery situadas en Dra Abu el-Naga, una de las necrópolis de la orilla oeste de la antigua Tebas, en la región de Luxor (Egipto) (Sánchez-Moral et al., 2011).

A continuación se muestran algunos de los resultados más destacados obtenidos en los proyectos de investigación relacionados con la conservación del patrimonio histórico-natural.

Conservación de arte rupestre

A finales de la década de los 90, desde el MNCN-CSIC, M. Hoyos coordinó científicamente un estudio integrado de carácter multidisciplinar de la cueva, en el marco de un proyecto financiado por la Comunidad Europea (*Deterioration of prehistoric rock art in karstic caves by mass tourism. Integrated study (environment, geology, geochemistry and microbiology) for their conservation*", PL950679, 1996-99). Los trabajos realizados se centraron en el estudio del soporte de la cavidad (geología), el estudio de las aguas que afectaban a la cavidad (hidrogeología), los microorganismos presentes en la cueva (microbiología) y, principalmente, el diseño, instalación y puesta en marcha de un sistema operativo de medidas y registro automático de parámetros microambientales en la cavidad con objeto de conocer en cada momento la situación de los diferentes parámetros y su evolución durante las visitas, enfocado a minimizar el impacto que puedan provocar en la cavidad y, por tanto, en las pinturas (Cañaveras et al., 2000, 2002a; Sánchez-Moral et al., 1999, 2000, 2002a). Los resultados obtenidos en ese proyecto y en los que anterior y posteriormente se han llevado a cabo en otras cavidades han permitido un gran avance en el conocimiento de la problemática de conservación del patrimonio en medios subterráneos naturales entre los que destacan:

- Definición del Área de Protección Total de la Cueva de Altamira (Hoyos et al., 1997a), Tito Bustillo (Cañaveras et al., 2006a), Venta Laperra (Hoyos et al.,

1994a), Arenaza (Hoyos et al., 1994b), Altxerri y Santimamiñe (Sánchez-Moral y Lario, 2006), Cueva del Tesoro (Hoyos et al., 1996b).

- Definición de las características microclimáticas, hidrogeoquímicas y cálculo de la capacidad de visita de la Cueva de Candamo (Hoyos et al., 1998a) y de la Cueva de Tito Bustillo (Hoyos et al., 1996d; Sánchez-Moral et al., 2004a).
- Elaboración de primer modelo cuantitativo de los procesos inorgánicos de corrosión de la roca soporte de las pinturas inducido por la entrada y permanencia diaria de los visitantes en la Cueva de Altamira (Sánchez-Moral et al., 1999). A partir de los datos microclimáticos obtenidos se estimaron tasas de microcorrosión de la roca encajante debido a la entrada de visitantes, 70 veces superiores a las que se producen como consecuencia de una dinámica natural de la cavidad.
- Evaluación del efecto de vibraciones en diferentes cavidades con arte rupestre (Arenaza, Santimamiñe, Santián, Cueva Urdiales, Cobrante; ver ejemplos en Hoyos et al., 1996c, Sánchez-Moral et al., 2005a y Abella y Sánchez-Moral, 2007).
- Caracterización del sistema poroso del suelo externo y la roca encajante y su relación con la ventilación enmarcados en la conservación del microambiente kárstico (Cuezva et al., 2004, 2011).
- Constatación de la existencia de poblaciones microbiológicas que se desarrollan sobre los muros y techos de las cavidades y del papel que juegan en los procesos de precipitación mineral (Sánchez-Moral et al., 2006) y su efecto en la roca soporte y pinturas y relación con la hidroquímica de las aguas de infiltración (Cañaveras et al., 1999, 2001, 2002b, 2004, 2006b; Cuezva et al., 2003, 2005; Sánchez-Moral et al., 2003a).
- Realización de mapeos detallados de la distribución de los diferentes tipos de colonias de microorganismos existentes en el medio para realizar un seguimiento de la proliferación y evolución de la distribución espacial de las diferentes comunidades existentes en función de las condiciones micro-ambientales (Cuezva et al., 2009; Jurado et al., 2009).

En conclusión, la aplicación de diversas metodologías de estudio y su integración en modelos de funcionamiento de las numerosas cavidades kársticas estudiadas nos permite en cada caso distinguir los principales mecanismos de deterioro y, de manera precisa, diferenciar los debidos a causas naturales y los derivados de la acción antrópica, incluyendo las modificaciones provocadas tanto en el interior del ambiente subterráneo como en su zona externa.

Conservación del patrimonio en otros ambientes hipogeos

Además de los trabajos realizados en medios kársticos naturales, en los últimos años hemos llevado a cabo diversos trabajos de características metodológicas similares, enfocados a la conservación del patrimonio ubicado en otros ambientes subterráneos, especialmente en monumentos funerarios hipogeos. A continuación y a modo de ejemplo, se expone un resumen de los

resultados y conclusiones obtenidas en los estudios de la Cueva Pintada de Gáldar (Gran Canaria) y en las catacumbas de Domitilla y San Calixto (Roma).

Cueva Pintada de Gáldar: Descubierta en 1873, y declarada Monumento Histórico Artístico y abierta al público en 1972 la Cueva Pintada constituye el ejemplo más genuino de las representaciones artísticas de la cultura aborigen de Gran Canaria (www.cuevapintada.com). En el marco de tres convenio específicos de colaboración entre el Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria y el CSIC, a lo largo del período 1997-2005, nuestro equipo procedió a un amplio estudio del entorno y de la propia Cueva Pintada, que abarca el estudio de los tres elementos que la definen y condicionan: la roca soporte (Hoyos et al., 1998b), los pigmentos, enlucidos y morteros (Sánchez-Moral et al., 2002b), así como las variables climático-ambientales que les afectan (Sánchez-Moral et al., 2005b). Tras el conjunto de los estudios de conservación realizados desde 1997, el estudio se completó tras un nuevo período de investigación en el que se llevó a cabo el análisis de las condiciones microambientales de la Cueva Pintada. El objetivo final era determinar los rangos microclimáticos adecuados para el mantenimiento de unas condiciones internas estables, que favorecieran tasas de intercambio moderadas con el exterior. Tras un período de 21 meses (15/07/2003 a 25/04/2005), se constató que los umbrales de humedad que no debían sobrepasarse para evitar la proliferación de comunidades microbianas y los ciclos de condensación-desección: valores por encima del 70%, ni por debajo del 45% (Benavente et al., 2009).

Catacumbas de Roma: Como miembros participantes en el proyecto europeo ENK4-CT2000-00028: *Cyanobacteria attack rocks (CATS): control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman hypogean monument*, durante el período 2000-2003 desarrollamos un estudio geológico, geomicrobiológico y microambiental para el estudio de las condiciones de conservación de las Catacumbas Romanas de Domitilla y San Calixto (Albertano et al., 2003). En colaboración con el IRNASE (CSIC), los estudios llevados a cabo pueden resumirse así:

1. Caracterización de la roca volcánica y de los materiales de construcción de las catacumbas (Sánchez-Moral et al., 2004b, 2005c).
2. Caracterización microambiental de una zona interna de la catacumba afectada por la entrada de visitantes (Sánchez-Moral et al., 2004c).
3. Estudio de los procesos de biomineralización asociados a los microorganismos presentes en las catacumbas (Sánchez-Moral et al., 2003b, 2004d).
4. Estudio y evaluación de los mecanismos y de los procesos de deterioro y elaboración de un modelo de bioreceptividad en función de las condiciones microambientales y las propiedades geoquímicas y petrofísicas de los materiales (Sánchez-Moral et al., 2005d) (Figura 1).

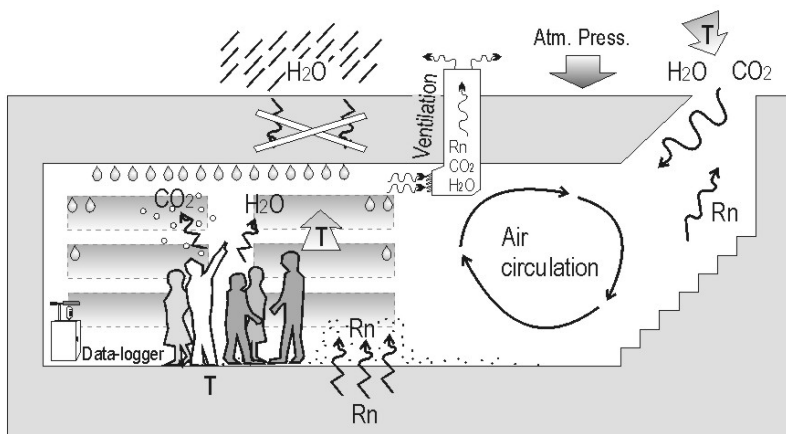


Figura 1. Diagrama esquemático de los efectos inducidos por la entrada de visitantes entre los que destacan los intensos fenómenos de condensación generados en paramentos elevados y la renovación de aire forzada para evitar la acumulación de gas radón en el ambiente. Esa ventilación artificial trae consigo la removilización de partículas entre las que se encuentran abundantes esporas microbianas.

Referencias

- Abella, R.; Sánchez-Moral, S. (2007). Registro de vibraciones en la Cueva de Cobrante (Voto, Cantabria): Análisis de la influencia de obras específicas de perforación dentro de su Área de Protección Total. Informe inédito para la empresa REE y la Consejería de Cultura, Turismo y Deporte de Cantabria: 9pp.
- Albertano P., Moscone D., Palleschi G., Hermosin B., Saiz-Jimenez C., Sanchez-Moral S., Hernandez-Marine M., Urzi C., Groth I., Schroeckh V., Saarela M., Mattila-Sandholm T., Gallon J. R., Graziottin F., Bisconti F., Giuliani R. (2003). Cyanobacteria attack rocks (CATS): Control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman Hypogean Mounments. In: Saiz-Jimenez, C. (Ed.), Molecular Biology and Cultural Heritage, Swets & Zeitlinger, Lisse (NL) pp. 151-162.
- Benavente, D., Cañaveras, J.C., Cuezva, S., Laiz, L., Sanchez-Moral, S. (2009). Experimental definition of microclimatic conditions based on water transfer and porous media properties for the conservation of Prehistoric constructions: Cueva Pintada at Galdar, Gran Canaria, Spain. *Environmental Geology* 56:1495-1504.
- Benavente, D., Sánchez-Moral, S., Fernández-Cortés, A., Cañaveras, J.C., Elez, J., Saiz-Jimenez, C. (2011), Salt damage and microclimate in the Postumius Tomb, Roman Necropolis of Carmona, Spain. *Environmental Earth Sciences*. doi:10.1007/s12665-010-0815-9.
- Cañaveras JC, Hoyos M, Sanchez-Moral S, Sanz-Rubio E, Bedoya J, Soler V, Groth I, Schumann P, Laiz L, Gonzalez I, Saiz-Jiménez C. (1999). Microbial communities associated with hydromagnesite and needle-fiber aragonite deposits in a karstic cave (Altamira, Northern Spain). *Geomicrobiol J* 16:9-25.
- Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S.; Soler, V.; Lasheras, J.A. (2000). Procesos kársticos y el ciclo del Carbono (PICG 379). Aplicación de los estudios microclimáticos a la Conservación del Patrimonio en cavidades kársticas. En: Programa Internacional de Correlación Geológica. Desarrollo y perspectivas en España. 25º Aniversario del Comité Español. (M.A. Lamolda, ed. Temas Geológico-Mineros 30: 45-50.
- Cañaveras JC, Sánchez-Moral S, Soler V, Saiz-Jiménez C. (2001). Microorganisms and microbially induced fabrics in cave walls. *Geomicrobiol J* 18: 223-240.
- Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S. Impacto ambiental del hombre en las cuevas. In: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds) *Karst and Environment* (2002): 499-504.

- Cañaveras, J.C., Sánchez-Moral, S., Bedoya, J., Soler, V. y Lario, J. (2002b). Estudios geomicrobiológicos en la Cueva de Altamira (Cantabria, N.España). In: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreu, B. (Eds) *Karst and Environment*: 515-520.
- Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S.; Soler, V.: Protección y conservación de cavidades kársticas con arte rupestre. In: Alfaro, P.; Andreu, J.M.; Cañaveras, J.C. y Yébenes, A. *Documentos del XIII Simposio de la enseñanza de la Geología*. Instituto de Ciencias de la Educación. Univ. Alicante (2004): 54-60.
- Cañaveras, J.C.; Cuezva, S.; Sanz-Rubio, E. & Sánchez-Moral, S.. Definition of protection areas in a prehistoric art cave (Tito Bustillo cave, N Spain). In: Fort, Álvarez Buergo, Gómez-Heras y Vázquez Calvo (eds): *Heritage, Weathering and Conservation*. Taylor & Francis Group, London (2006a): 813-817.
- Cañaveras, J.C.; Cuezva, S.; Sánchez-Moral, S.; Lario, J.; Laiz, L.; Gonzalez, J.M.; Saiz-Jimenez, C. (2006b): On the origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits. *Naturwissenschaften*, 93: 27-32.
- Cuezva, S.; J.C. Cañaveras; R. González; J. Lario; L. Luque; C. Sáiz-Jiménez; S. Sánchez-Moral y V. Soler (2003). Origen bacteriano de espelotemas tipo moonmilk en ambiente kárstico (Cueva de Altamira, Cantabria, España). *Estudios Geológicos*, 59: 145-157.
- Cuezva, S.; Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C.; Lario, J.; Soler, V. (2004). Intercambios de CO₂ suelo/cavidad en un sistema kárstico somero (Cueva de Altamira, Cantabria). *Geotemas*, 6: 327-330.
- Cuezva, S.; Cañaveras, J.C. y Sánchez-Moral, S. (2005). Biomineralizaciones de huntita en espeleotemas de la Cueva de Altamira (Cantabria). *SEM Macra* 3: 65-66.
- Cuezva, S.; Sanchez-Moral, S.; Saiz-Jimenez, C; Cañaveras, J.C. (2009). Microbial Communities and Associated Mineral Fabrics in Altamira Cave, Spain. *International Journal of Speleology* 38 (1): 83-9.
- Cuezva, S.; Fernández-Cortés, A., Benavente, D., Serrano-Ortiz, P., Kowalski, A.S., Sanchez-Moral, S. (2011). Short-time CO₂(g) exchange processes between a shallow karstic cavity and the external atmosphere during summer: role of the surface soil layer. *Atmospheric Environment* 45 (7) (2011): 1418-1427.
- de Torres, T., Ortiz, J.E., Grun, R., Eggins S., Valladas, H., Mercier, N., Tisnerat-Laborde, N., Julia. R., Soler, V., Martinez, E. Sanchez-Moral, S., Cañaveras J.C., Lario, J., Badal, E., Lalueza-Fox, C., Rosas, A., Santamaria, D., de la Rasilla, M., Fortea, J. (2010). Dating of the Hominid (*Homo Neanderthalensis*) remains accumulation from El Sidron Cave (Pilona, Asturias, North Spain): An example of a Multi-Methodological approach to the dating of upper Pleistocene sites. *Archeometry*, 52, 680-705.
- Díez-Herrero A., Lario J., Gutiérrez-Pérez I., Alonso-Azcárate J., Sánchez-Moral S., Cañaveras J.C., Análisis de la insolación directa potencial como factor de degradación de los conjuntos pictóricos rupestres de Villar del Humo (Cuenca). En: Augusto Pérez Alberti, Juan López Bedoya. *Geomorfología y territorio: actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología* (2006): 993-1008.
- Fernandez-Cortes A, Sanchez-Moral S, Cañaveras JC, Cuevas-Gonzalez, J., Cuezva, S., Andreu, J.M. (2009a). Variations in seepage water geochemistry induced by natural and anthropogenic microclimatic changes: Implications for speleothem growth conditions. *Geodinamica Acta*, 22-23, 1-13.
- Fernandez-Cortes A, Sanchez-Moral S, Cuezva S, Cañaveras, J.C., Abella, R. (2009b). Annual and transient signatures of gas exchange and transport in the Castanar de Ibor cave (Spain). *International Journal of Speleology*, 38, 153-162.
- Fernandez-Cortes A, Sanchez-Moral S, Cuezva S, Benavente, D., Abella, R. (2011). Characterization of trace gases' fluctuations on a 'low energy' cave (Castanar de Ibor, Spain) using techniques of entropy of curves. *International Journal of Climatology*, 31, 127-143.

- Hoyos, M., J.C. Cañaveras, S. Sánchez-Moral, J. Lario y E. Sanz-Rubio. (1994a) Área de protección total de la Cueva de Venta Laperra (Valle de Carranza, Vizcaya). Informe inédito para Departamento de Cultura del Gobierno Vasco. 11p.
- Hoyos, M., S. Sánchez-Moral, J.C. Cañaveras y E. Sanz Rubio. (1994b). Área de protección total de la Cueva de Arenaza (Galdamez, Vizcaya). Informe inédito para Departamento de Cultura del Gobierno Vasco. 12p.
- Hoyos M.; Cañaveras, J.C.; Sánchez Moral, S.; Sanz Rubio, E.; Blanco, M.T.; Puertas, F.; Palomo, A.; Sáiz C. y Ariño, X. (1996a). Estudio de los procesos de alteración de las rocas y pinturas de los abrigos de Atlanterra y Alemanes (Cádiz) y de los Letreros (Almería). Informe inédito. Junta de Andalucía. Informe 125 p.
- Hoyos M., Soler, V., Cañaveras, J.C., Sánchez Moral, S. y Sanz Rubio, E. (1996b). Estudio de la delimitación de las áreas de Protección de las cuevas del Tesoro - Higuéron - Rincón de la Victoria (Rincón de la Victoria, Málaga). Informe inédito para Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía /EDIPSA.
- Hoyos, M.; Sánchez-Moral, S.; Cañaveras, J.C.; Lario, J. & Sanz-Rubio, E. (1996c). Deterioration processes on prehistoric rock-art Arenaza cave (northern Spain). 28th International Geographical Congress. The Hague.
- Hoyos, M.; Soler, V.; Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S. y Sanz Rubio, E. (1996d). Memoria final sobre las características geológico-kársticas y microambientales de la Cueva de Tito Bustillo, Ribadesella. Informe para la Consejería de Cultura del Principado de Asturias: 96p.
- Hoyos, M., S. Sánchez-Moral, J.C. Cañaveras y E. Sanz Rubio. (1997a). Definición del Área de Protección Total de la Cueva de Altamira. Informe inédito para Ministerio de Cultura.: 4p.
- Hoyos, M.; Soler, V.; Cañaveras, J.C.; Sánchez-Moral, S. y Sanz-Rubio, E. (1998a). Microclimatic characterization of a karst system. Human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain). *Environmental Geology*, 33, 4231-242.
- Hoyos, M.; Sánchez-Moral, S.; Sanz Rubio, E y Cañaveras, J.C. (1998b). Informe sobre las alteraciones de los materiales volcánicos encajantes del Complejo Troglodita de Galdar (Gran Canaria). Informe inédito. Cabildo de Gran Canaria: 67pp.
- Jurado, V., Fernandez-Cortes, A, Cuezva S, Laiz, L., Cañaveras, J.C., Sanchez-Moral, S., Saiz-Jimenez, C. (2009). The fungal colonisation of rock-art caves: experimental evidence. *Naturwissenschaften*, 96, 1027-1034.
- Sánchez-Moral, S.; Cañaveras, J.C.; Hoyos, M. y Sanz-Rubio, E. (1996). Los procesos de alteración en las rocas soporte de las pinturas de los conjuntos rupestres del Tajo de las Figuras (Cádiz) y Peñas Cabreras (Málaga). *Geogaceta* 20 (5): 1222-1225.
- Sánchez-Moral, S.; Soler, V.; Cañaveras, J.C.; Sanz-Rubio, E.; Van Grieken, R.; Gysells, K. (1999). Inorganic deterioration affecting Altamira Cave. Quantitative approach to wall-corrosion (solutional etching) processes induced by visitors. *Science of the Total Environment*, 243: 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.
- Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C., Soler, V., Saiz, C. Bedoya, J., y Lario, J. (2002a). La Conservación del Monumento: In: Lasheras, J.A. (Ed.) *Redescubrir Altamira*, Turner, Madrid: 245-257
- Sánchez-Moral, S., García-Guinea, J. Sanz-Rubio, E. Cañaveras, J.C., Onrubia-Pintado, J. (2002b). Mortars, pigments and saline efflorescences from Canarian pre-Hispanic constructions (Galdar, Grand Canary Island). *Construction and Building Materials*, 16: 241-250.

- Sanchez-Moral S., Cañaveras J. C., Laiz L., Saiz-Jimenez C., Bedoya J., Luque, L., (2003a). Biomediated precipitation of calcium carbonate metastable phases in hypogean environments. *Geomicrobiology Journal* 20: 491-500.
- Sanchez-Moral S., Bedoya J., Luque L., Cañaveras J.C., Jurado V., Laiz L., Saiz-Jimenez C., (2003b). Biomineralization of different crystalline phases by bacteria isolated from catacombs. In: Saiz-Jimenez, C. (ed.), *Molecular Biology and Cultural Heritage*, Swets & Zeitlinger, Lisse, (NL):. 179-185.
- Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J.C.; Lario, J.; Cuezva, S.; Soler, V. (2004a). Estudio hidrogeoquímico del sistema kárstico de la Cueva de Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias). *Geotemas*, 6 (4): 189-191.
- Sánchez-Moral, S.; Garcia-Guinea, J.; Luque, L.; Gonzalez, R.; López-Arce, P. (2004b). Carbonation kinetic in roman-like lime mortars. *Materiales de Construcción*, 275: 23-37.
- Sánchez-Moral S, Luque L, Cuezva S, Soler V., (2004c). Environmental modifications induced by visitors in San Callixtus Roman catacomb (Rome, Italy). In: Saiz-Jimenez C. (ed.), *Air Pollution and Cultural Heritage*, Swets & Zeitlinger BV, Lisse (NL):. 183-190
- Sánchez-Moral S, Luque L, Cañaveras JC, Laiz L, Jurado V, Hermosín B, Saiz-Jimenez C. (2004d). Bioinduced barium precipitation in San Callixtus and Domitilla Catacombs. *Ann. Microbiol.* 54: 1-12.
- Sánchez-Moral, S.; Sanz-Rubio, E. y Soler, V. (2005a). Análisis del estado de conservación de la roca soporte de las pinturas y registro y análisis de vibraciones de fondo en la Cueva de Urdiales. In: Montes, R; Muñoz, E. y Morlote J.M.: *Cueva Urdiales* (Castro Urdiales, Cantabria). Ayuntamiento de Castro Urdiales: 133-138.
- Sánchez-Moral, S.; Cañaveras, J.C.; Benavente, D.; Cuezva, S. (2005b). Determinación de rangos microclimáticos óptimos (temperatura, humedad y anhídrido carbónico) para minimizar los procesos de deterioro de soporte y pinturas de la Cueva Pintada de Gáldar Informe para La Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico del Cabildo de Gran Canaria: 69pp.
- Sánchez-Moral S., Luque L., Soler V., Cañaveras J. C., Garcia-Guinea J., Aparicio A., (2005c). Lime-pozzolana mortars in Roman Catacombs: composition, structures and restoration. *Cement and Concrete Research*, 35: 1555-1565.
- Sánchez-Moral, S.; Luque, L.; Cuezva, S.; Soler, V.; Benavente, D.; Laiz, L.; Gonzalez, J.M.; Saiz-Jimenez, C. (2005d). Deterioration of building materials in Roman catacombs: The influence of visitors. *Science of the Total Environment*, 349: 260- 276.
- Sánchez-Moral, S.; Lario, J.(2006). Delimitación de las Áreas de Protección de las Cuevas de Santimamiñe (Bizkaia) y Altixerri (Gipuzkoa). Informe inédito para el Departamento de Cultura del Gobierno Vasco: 12pp.
- Sánchez-Moral, S.; Juan M. González, Juan C. Cañaveras, Soledad Cuezva, Javier Lario, Carolina Cardell, J. Elez, L. Luque y Cesáreo Saiz-Jiménez. (2006). Procesos de precipitación mineral bioinducidos en sistemas kársticos subterráneos: breve revisión y nuevas tendencias. *Estudios Geológicos* 62 (1): 43-52.
- Sánchez-Moral, S., Martínez-Martínez, J., Benavente, D., Cuezva, S., Fernández-Cortés, A. (2011). Mechanical characterization of ancient Egyptian mortars. *Key Engineering Materials*, 465, 487-490.
- Santamaria, D., Fortea, J., De la Rasilla, M., Martinez, L., Martinez, E., Cañaveras J.C., Sanchez-Moral, S., Rosas, A., Estalrich, A., Garcia-Tabernero, A., Lalueza-Fox, C. (2010) The technological and typological behavior of a Neanderthal group from el Sidron Cave (Asturias, Spain). *Oxford Journal of Archaeology*, 29, 119-148.
- Zammit, G., Sanchez-Moral S., Albertano, P. Bacterially mediated mineralisation processes lead to biodeterioration of artworks in Maltese catacombs. *Science of the Total Environment* 409 (2011) 2773-2782.