

CENTRO DE INVESTIGACION Y MUSEO DE ALTAMIRA  
MONOGRAFIAS  
N.º 11

# CUEVA DE ALTAMIRA

ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS  
DE LA SALA DE POLICROMOS.  
INFLUENCIA DE LA PRESENCIA HUMANA  
Y CRITERIOS DE CONSERVACION



MINISTERIO DE CULTURA

DIRECCION GENERAL DE BELLAS ARTES Y ARCHIVOS

CENTRO DE INVESTIGACION Y MUSEO DE ALTAMIRA  
MONOGRAFIAS  
N.º 11

# CUEVA DE ALTAMIRA

ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS  
DE LA SALA DE POLICROMOS.  
INFLUENCIA DE LA PRESENCIA HUMANA  
Y CRITERIOS DE CONSERVACION

MINISTERIO DE CULTURA

DIRECCION GENERAL DE BELLAS ARTES Y ARCHIVOS  
SUBDIRECCION GENERAL DE ARQUEOLOGIA Y ETNOGRAFIA

1.ª edición: Madrid, 1984.  
Printed in Spain. Impreso en España.  
Edita: Ministerio de Cultura, Dirección General  
de Bellas Artes y Archivos.  
Subdirección General de Arqueología y Etnología.  
Pza. del Rey, 1. 28071 Madrid. Tel.: 429 24 44.  
Distribución: San Mateo, 13. 28004 Madrid. Tel.: 448 07 73.  
I.S.B.N.: 84-7483-397-3.  
Dep. Legal: M-1664-1985.  
Imprime: Colomar, s.c.l. Tel.: 619 79 56.

## INDICE

<b>La humedad natural de la cueva de Altamira.</b> E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, J. R. Solana, J. Soto. ....	7
<b>La ventilación natural de la sala de pinturas de la cueva de Altamira. Contenido de Radon.</b> E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto. ....	21
<b>Estudio del equilibrio gas carbónico-agua-carbonato cálcico, en las aguas que bañan las pinturas de Altamira.</b> E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, J. R. Solana, J. Soto. ....	35
<b>Influencia de la presencia de visitantes sobre las temperaturas de la sala de policromos. Tiempos de recuperación.</b> E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto. ....	65
<b>Influencia de la presencia de personas en la humedad y en la concentración de anhídrido carbónico en la sala de pinturas de Altamira. Tiempos de recuperación.</b> E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto. ....	81
<b>Influencia de la presencia de personas sobre los procesos de deterioro de la pintura de Altamira. Criterios de conservación.</b> E. Villar, A. Bonet, B. Díaz-Caneja, P. L. Fernández, I. Gutiérrez, L. S. Quindós, J. R. Solana, J. Soto. ....	95

**INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE PERSONAS  
SOBRE LOS PROCESOS DE DETERIORO  
DE LAS PINTURAS DE ALTAMIRA.  
CRITERIOS DE CONSERVACION**

**Villar, E.; Bonet, A.; Díaz-Caneja, B.; Fernández, P. L.; Gutiérrez, I.;  
Quindós, L. S.; Solana, J. R.; Soto, J. \***

• Departamento de Física Fundamental.  
Facultad de Ciencias.  
Universidad de Santander.

## INTRODUCCION

Hasta ahora hemos estudiado, por una parte, el microclima natural de la Cueva de Altamira<sup>1,2,3</sup> y, en especial, el de la Sala de Pinturas en ausencia de personas, determinando la evolución natural que a lo largo del año experimentan las variables que definen las características y el comportamiento de este ecosistema, tales como su ventilación<sup>4</sup>, flujos de materia y energía<sup>5</sup>, color de las pinturas<sup>6,7</sup>, etc. Por otra parte, se ha estudiado el efecto que produce sobre el microclima de la Sala la presencia de personas en su interior, determinando cómo se altera la temperatura, la humedad y la concentración del anhídrido carbónico de la Sala, con el número de visitantes y con el tiempo de permanencia en ella<sup>8,9</sup>. En este estudio se ha hecho hincapié en la importancia que tienen los tiempos de recuperación, que han sido analizados desde un punto de vista teórico, confirmando los resultados que se deducen con los que se obtienen de las campañas de medidas realizadas en régimen de visitas, para diferentes índices de ocupación.

La conclusión más significativa que se alcanza con estos estudios es que la Sala de Polícromos es extraordinariamente sensible a la presencia de personas en su interior, bastando bajos índices de ocupación y cortos intervalos de permanencia de las personas introducidas, para modificar profundamente el microclima de la Sala. Ahora bien, lo más importante es saber hasta qué punto estas alteraciones afectan a aquellos procesos naturales que tienen lugar en la Sala y que pueden clasificarse como agentes de deterioro de las superficies policromadas.

En el presente trabajo se expone lo que entendemos por proceso de deterioro, se analizan brevemente las condiciones que se precisan para que se desarrollen, se determinan las razones por las cuales influye el tiempo de permanencia y el número de personas en estos procesos y se establecen unos criterios para la conservación de las pinturas que obligan a limitar el número de visitas diarias y el tiempo de permanencia.

## PROCESOS DE DETERIORO DE LAS PINTURAS

Intentar conocer todos y cada uno de los procesos físico-químicos, agentes de deterioro, que tienen lugar en la superficie del techo soporte de las pinturas es evidentemente una labor poco menos que imposible, sobre todo a nivel microscópico; sin embargo, a nivel macroscópico pueden preverse toda una serie de procesos perjudiciales para la conservación de las pinturas, muchos de los cuales son fácilmente detectables mediante un simple diagnóstico visual y otros tantos por consideraciones intuitivas de carácter trivial, aunque, en cualquier caso, la descripción de los mecanismos de deterioro, a nivel microscópico, es siempre compleja.

Consideraremos que las pinturas sufren deterioro cuando tienen lugar alguno de los procesos que a continuación se reseñan:

i) Desecamación de las superficies policromadas, fenómeno por el cual, partículas del techo del orden del milímetro, se desprenden del mismo, originando un germen de propagación del descascarillamiento inicial, que finalmente alcanza dimensiones fácilmente visibles a simple vista. Dada la complejidad microlítica del techo es de suponer que esta desecamación puede alcanzar tanto a los propios pigmentos como a la película que sirve de soporte a los mismos pudiéndose producir así, paulatinamente, la desaparición de las pinturas.

ii) Precipitación de carbonatos sobre las superficies pintadas del techo como consecuencia del carácter incrustante del agua que las baña, merced a una desgasificación de  $\text{CO}_2$  de estas aguas o por evaporación de las mismas. La precipitación de carbonato cálcico se realiza bajo determinadas condiciones ambientales, bien en forma de concreciones calcáreas o constituyendo estalactitas, según se formen los microcristales por circulación capilar o por la permanencia del agua en los puntos de goteo. Estos precipitados (en un principio capaces de redisolverse) pueden, sin embargo, ir cubriendo las pinturas, aunque lentamente, hasta ocultarlas totalmente.

iii) Disolución del soporte cálcico de los pigmentos, como consecuencia de la agresividad de las aguas, por un exceso de  $\text{CO}_2$  disuelto o por condensación del vapor de agua reinante en la atmósfera de la Sala. La caliza, en cualquiera de sus formas, va disolviéndose y, por tanto, si sustentaba pinturas del hombre prehistóricas, deja sin consistencia a los pigmentos, los cuales van desapareciendo al ritmo con que se destruye la superficie a la que estaban adheridos.

iv) Disolución y arrastre de los propios pigmentos por el agua infiltrada por las grietas y fisuras de las calcarenitas que constituyen el techo, ya que todos los compuestos químicos que constituyen la superficie soporte de los pigmentos, y ellos mismos, aunque prácticamente insolubles, siempre presentan un determinado producto de solubilidad que hace que pasen a estado iónico. Además, aunque la velocidad de deslizamiento de la película de agua que baña las pinturas sea lenta, siempre es posible el arrastre de pequeñas partículas de la compleja textura del techo.

v) Depósito de productos de arrastre, arrancados a lo largo de los 7 m. de espesor de techo, atravesados por el agua que discurre entre las fisuras, y también durante su recorrido mientras circula por el techo, antes de gotear. Estos materiales de arrastre transportados lentamente pueden ir depositándose irregularmente dando lugar a la ocultación de las pinturas.

vi) Corrosión paulatina de los pigmentos o de la roca soporte debida a reacciones químicas con productos activos existentes en el agua que aflora por el techo o en el aire que penetra en la Sala, como consecuencia de procesos de contaminación del aire, del agua y del suelo del exterior de la Cueva.

vii) Transformación sistemática de los pigmentos o de la roca que los soporta por reacciones químicas provocadas por las sustancias producidas en el metabolismo determinadas colonias de bacterias, entre ellas las sulfoxidantes, capaces de deteriorar la roca caliza.

viii) Ocultación de las superficies policromadas por acumularse en ellas colonias de algas o de hongos, capaces de vivir y reproducirse en las condiciones ambientales de la Sala y que han logrado introducirse bien por ventilación propia de la Cueva, que intercambia aire con el exterior, o bien por las personas que han penetrado en la Sala y han actuado como vehículo de transporte.

ix) Desprendimiento de lascas, fragmentos de roca o del estrato calcáreo en el que se asientan las pinturas, como consecuencia del campo de tensiones que actúa sobre los estratos casi horizontales del techo, que pueden llegar a provocar deformaciones que excedan a las características elásticas de la roca.

Obviamente, un tratamiento detallado y riguroso de cada uno de estos procesos supone un arduo trabajo, cuya descripción no cabría en las páginas de este artículo. Por otra parte, cada uno de estos procesos puede originar una destrucción total o parcial de las pinturas y además su intensidad y velocidad de desarrollo son función del valor que tomen determinadas variables que definen las condiciones ambientales y otras características del ecosistema. En todo momento hay que tener presente que todos estos procesos han tenido, tienen y tendrán lugar de un modo natural, muchos de ellos a velocidades infinitesimales y otros, como el ix), con una periodicidad extraordinariamente larga, pero el deterioro que experimentan con el tiempo es inexorable.

Entonces, el objetivo del presente trabajo es obtener la máxima información posible, basándonos en el cúmulo de medidas realizadas, del estado actual en el que se encuentran dichos procesos en la Sala de Polícromos, de los factores que más significativamente influyen en los mismos y de las alteraciones que experimentan con la presencia de personas en función del número de visitantes y del tiempo de permanencia.

## ESTADO ACTUAL DE LOS DISTINTOS PROCESOS NATURALES DE DETERIORO DE LAS PINTURAS

### I. Desescamación

La desescamación puede tener su origen en una disminución de las propiedades adhesivas de los pigmentos respecto a la superficie soporte, o a una falta de cohesión de los pigmentos entre sí y con el medio en el que se encuentran<sup>10</sup>, o a las dilataciones y contracciones de diferente magnitud que experimentan los diversos materiales que constituyen la compleja superficie policromada. La ausencia de adhesividad o de cohesión puede originar directamente un repetido desprendimiento de pequeñísimas partículas de estos materiales, hasta visualizar la desescamación macroscópicamente.

Repetidas dilataciones y contracciones relativas pueden originar microscópicos desplazamientos de unos materiales respecto a los que lo rodean, de modo que a la larga pueden también dar lugar al desprendimiento de pequeñas partículas hasta alcanzar proporciones visibles.

Los factores que pueden influir son los siguientes:

a) Sobre la adherencia y la cohesión el factor más influyente es la humedad.

b) Sobre estas ínfimas variaciones de volumen pueden influir dos factores:

b<sub>1</sub>) Las variaciones de humedad relativa debidas al carácter higroscópico de algunos de los constituyentes de la superficie policromada.

b<sub>2</sub>) Las variaciones de temperatura que provocarán diferentes efectos según el coeficiente de dilatación de estos materiales

a) En las condiciones actuales de la Sala de Pinturas de Altamira puede decirse que el alto valor de la humedad relativa del aire, que oscila entre el 95 y el 100 por 100, unido a la constante presencia de agua en las superficies rocosas<sup>3</sup>, aseguran una fuerte adherencia de los pigmentos a la roca y una gran adhesión de ellos entre sí, impidiendo cualquier desescamación posible, aún en las zonas superficiales más secas del techo policromado.



Si por algún motivo se impidiese el flujo natural de agua que desde el exterior penetra en la Sala, atravesando la techumbre y bañando el techo en su mayor parte, y la humedad relativa experimentase un descenso tal que se desecase el techo, podrían tener lugar procesos de desescamación al disminuir la adherencia y la cohesión de los pigmentos.

b) Respecto a las microscópicas variaciones periódicas de volumen que pudieran experimentar los materiales que constituyen el techo cabe concluir lo siguiente:

b<sub>1</sub>) Los análisis petrográficos realizados con anterioridad demuestran que entre los constituyentes terrigenos se encuentra arcilla montmorillonítica, posiblemente con un 3 por 100 de este silicato de estructura laminar. La montmorillonita es higroscópica, capaz de absorber o ceder hasta cuatro capas monomoleculares del agua interlaminar<sup>11</sup>, según las condiciones de humedad, de modo que si estas variaciones importantes pueden originarse dilataciones o contracciones de volumen que pueden dar lugar a una iniciación del proceso de desescamación. Las lentas variaciones naturales de la humedad relativa de la Sala, que no supera el 2 por 100 a lo largo de seis meses, unido a una constante humectación, durante todo el año, de las superficies policromadas suponen una garantía para que no se produzca descascarillamiento por esta causa.

b<sub>2</sub>) Siendo así que la temperatura del techo de la Sala experimenta una fluctuación natural de  $\pm 1^\circ$  al cabo del año no es fácil admitir que las pequeñas diferencias entre los coeficientes de dilatación de los diversos materiales que constituyen la superficie del techo y la lentitud de las variaciones sean suficientes para provocar desplazamientos relativos capaces de dar lugar a desprendimientos de ínfimas partículas.

### II-III. Precipitación de carbonatos y disolución de la roca soporte

Entre la presión parcial del anhídrido carbónico del aire de la Sala de Polícromos, el agua que baña las pinturas y el carbonato cálcico soporte de las mismas se establece un equilibrio físico-químico en el que juegan un papel importante la concentración de iones bicarbonato, la de iones calcio y la acidez del agua. Si aumenta el contenido de gas carbónico en la Sala, el equilibrio exige un aumento del ión bicarbonato, lo que hace disminuir el pH y aumentar la concentración de iones cálcicos, por lo que la calcita de la roca soporte se va disolviendo, suministrando así calcio iónico. Si se condensa vapor de agua en el techo, se diluye la concentración de iones cálcicos, pero no disminuye la concentración de gas carbónico en el agua, porque nuevas moléculas de CO<sub>2</sub> del aire se disuelven, lo que hace que la concentración de carbonatos disueltos también sea constante, por lo que su producto de solubilidad exige que átomos de calcio de la roca pasen de forma iónica, disolviéndose así el soporte de las pinturas. Si por el contrario disminuye la presión parcial del gas carbónico de la atmósfera de la Sala, también lo hace el gas disuelto en las aguas que bañan las pinturas, disminuye la concentración de bicarbonatos, aumenta el pH, lo que hace aumentar los iones carbonato, por lo que el producto de solubilidad del carbonato cálcico exige que disminuya la concentración de iones de calcio en el agua, lo que origina la precipitación del carbonato cálcico. Si hay evaporación de la película de agua que impregne el techo policromado, aumenta la concentración de iones cálcicos, pero tanto la concentración de iones carbonato, como la de iones bicarbonato, como la del gas carbónico disuelto en el agua permanecen constantes a expensas del CO<sub>2</sub> del aire de la Sala, luego de nuevo la constancia del producto de solubilidad del carbonato cálcico hace que los iones de calcio de la disolución precipiten en forma de carbonato cálcico. Los procesos de disolución y precipitación requieren ciertos requisitos. Por ejemplo, la precipitación del carbonato cálcico no sólo exige que la concentración de iones de calcio supere la correspondiente al equilibrio, sino que existan gérmenes de precipitación. El exceso de los iones de calcio [Ca<sup>+2</sup>] presentes, frente a los que debían existir [Ca<sup>+2</sup>]<sub>eq</sub>, juega un papel importante, por lo que se define un índice de saturación IS = log y, donde:

$$y = [Ca^{+2}] / [Ca^{+2}]_{eq}$$

Cuando hicimos el estudio del equilibrio  $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CaCO}_3$  <sup>12</sup>, llegamos a la conclusión de que las aguas que bañan las pinturas son alcalinas e incrustantes, con un índice de saturación medio igual a 0,21. Estas características nos informan de que se trata de un equilibrio metaestable, por el cual existe un exceso de iones  $\text{Ca}^{2+}$  sobre la concentración de equilibrio  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{eq}}$ , de tal modo que ni la débil condensación de vapor de agua que puede tener lugar durante los meses de verano sobre el techo, ni las variaciones naturales de la concentración del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera de la Sala son capaces de reducir el índice de saturación a cero y, por tanto, de que llegue a iniciarse la disolución del carbonato cálcico, soporte de las pinturas.

Por otra parte, el hecho de que sea  $\text{IS} > 0$ , durante todo el año, parece indicar que las características iónicas y la naturaleza y cantidad de la materia en suspensión no facilitan la precipitación del carbonato cálcico. Todo hace pensar que el tiempo de permanencia del agua sobre la superficie del techo es inferior al tiempo que se precisa para formar gérmenes de precipitación. En cualquier caso, no hay que rechazar la posibilidad de una precipitación, aunque lo sea en ínfimas cantidades, y que desde luego se produciría irregularmente, distribuyéndose de acuerdo con la topología y textura irregular del techo, como lo demuestra el hecho de que son muy escasas las precipitaciones que se observan hoy, «sobre» las pinturas <sup>13</sup>. Por otra parte, se ha podido comprobar la constancia de la concentración del ión  $\text{Ca}^{2+}$  a lo largo de todo el año, en el agua que baña las pinturas, lo cual constituye un claro exponente de que la precipitación no puede ser significativa. En el peor de los casos, suponiendo un régimen hidrológico idéntico al actual, durante los 16.000 años que existen las pinturas, y una concentración de iones de calcio también idéntica, podríamos admitir que a lo sumo sería posible la precipitación de  $\text{Ca}^{2+}$  en una cuantía igual al error de nuestras medidas de concentración, que son de 1 mg/l. Dado el flujo de agua que aflora el techo, de 12 l/mes, resultaría que desde que el techo fue pintado, podrían haberse depositado unos miligramos de carbonato cálcico por centímetro cuadrado de techo, lo que supondría una capa de espesor medio de unas pocas micras, que no constituiría un impedimento para la visualización de las pinturas. Siguiendo con esta elucubración, basada en las condiciones más peyorativas, es fácil comprender que, en régimen natural, la ocultación de las pinturas por precipitación de carbonatos sobre ellas es un proceso tan lento que por esta causa podrían conservarse durante tantos años como la edad de las pinturas.

Hay que suponer que en las épocas en donde se produce sobre el techo la condensación natural del vapor de agua contenido en el aire de la Sala y cuando, también de un modo natural, aumenta la concentración de  $\text{CO}_2$  en el agua que baña las pinturas, tienen lugar fenómenos de disolución de los posibles microcristales formados, como si la situación correspondiente a valores dados para el índice de saturación  $\text{IS} > 0$ , hubiese de conservarse, de modo que la concentración del ión cálcico sea constante a lo largo del año.

#### **IV-V. Disolución y arrastre de los pigmentos y depósito de materiales de arrastre**

Teniendo en cuenta que hemos prestado hasta ahora una gran atención a los procesos sobre los que puede ser importante la presencia de visitantes en la Sala de Pinturas, resulta que el estudio de la disolución y arrastre de los pigmentos ha sido postpuesto, en cuanto que estos procesos han venido ocurriendo, ocurren y ocurrirán, mientras el régimen hidrológico sea tal que las pinturas se encuentran bañadas constantemente por el agua que aflora a la Sala de Polícromos, y poco pueden influir en él la presencia no masiva de visitantes. De cualquier modo, puede aventurarse que los datos suministrados por los geólogos <sup>13</sup> y por los arqueólogos sugieren que las pinturas de Altamira estuviesen constantemente bañadas de agua, tanto debido al propio proceso kárstico que dio origen a la Cueva como a las modificaciones que experimentó el régimen hidrológico de la misma, sobre todo, en virtud de la alteración que sufrieron grietas y fisuras a raíz de la intensidad de las ondas mecánicas producidas en las explosiones provocadas en beneficio de

una cantera que se venía explotando desde el siglo pasado. Cuando el arqueólogo J. Vilanova (1881)<sup>14</sup> defendió ante los científicos franceses la autenticidad de las pinturas prehistóricas de Altamira, esgrimía como argumento que la frescura y viveza de los colores eran debidas a que se hallaban «mojadas» a causa de la condensación del vapor de agua de la Sala, lo que constituye un testimonio del permanente baño de agua a que están y han estado sometidas las pinturas, cuando fueron descubiertas. Análisis del contenido del ion  $Fe^{+2}$ , realizados por espectrofotometría de emisión-absorción con muestras de agua del techo que han bañado los pigmentos rojos de oligisto de las pinturas, y con muestras de agua que no han discurrido por ninguna superficie pintada, dentro de la misma Sala, no han mostrado diferencia alguna. Admitiendo que la máxima cantidad de ion hierro que se disuelve es igual al error de la medida de la concentración de este ion en el agua de la Sala, teniendo en cuenta el flujo de agua entrante, y suponiendo que éste hubiese sido constante durante los 16.000 años, pueden hacerse estimaciones de la pequeña pérdida que han experimentado las superficies de color rojo como consecuencia de la constante humectación a que han estado sometidas. En cuando al depósito de los materiales de arrastre, cabe suponer que la compleja red de fisuras y capilares para los que discurre el agua procedente de la lluvia, antes de alcanzar el techo policromado, realiza una operación de filtraje profundo a través de materiales prácticamente insolubles. Sin embargo, deben estudiarse estas posibilidades, aunque correspondan a procesos de pequeña cuantía y extraordinariamente lentos.

Disolución de pigmentos y depósito de materiales son dos fenómenos cuyo estudio hemos comenzado a observar en colaboración con el Departamento de Química Técnica de la Universidad de Oviedo.

## VI. Corrosión por contaminación

Diferentes ensayos sobre el contenido de contaminantes en el aire con el que las pinturas están en contacto han demostrado<sup>5</sup> que los contaminantes más típicos tales como anhídrido sulfuroso, óxido de nitrógeno y monóxido de carbono se encuentran en cantidades inferiores a los límites de sensibilidad de los instrumentos utilizados en la medida de la concentración de los mismos.

Por otra parte, las sucesivas campañas de análisis químicos del agua que baña las pinturas han demostrado que el contenido de sulfatos, cloruros y nitratos, es semejante al de las aguas de otras cuevas europeas. Los mismos niveles prácticamente nulos de amoníaco y el mismo valor del pH demuestran que estas aguas no sufren ningún tipo de contaminación significativa, a pesar de la proximidad a la zona industrial de Torrelavega.

De todos modos, en el futuro será conveniente volver a realizar análisis de contaminación del aire y del agua interior de la Sala de Pinturas, con métodos de mayor sensibilidad, y también del aire exterior y del agua de lluvia, correlacionando los resultados con la dirección de los vientos, ya que al no observar niveles de contaminación significativos, se dio prioridad a otros problemas más acuciantes.

## VII-VIII. Contaminación bacteriana y ocultación de los policromos por colonias de algas.

Los informes biológicos<sup>15, 16</sup> existentes sobre esta materia demuestran que, comparando el número de microorganismos encontrados en el aire de la Sala de Pinturas, dos años después del cierre de la Cueva, con los que se habían encontrado en un estudio realizado en 1978, resulta que ha habido un descenso considerable; a pesar de todo, la atmósfera de la Sala contiene más bacterias y hongos que el resto de la Cueva. Las bacterias predominan con mucho sobre los hongos y levaduras. La contaminación bacteriana en tierra y agua viene a ser la misma en toda la Cueva.

Entre los microorganismos que pudieran ser peligrosos para las pinturas figuran los que son capaces de producir ácidos orgánicos a partir de materia orgánica, lo que puede ser una importante causa de corrosión, entre ellos las enterobacterias, que serían un índice de contaminación, puesto que no son típicos del suelo. Los análisis demuestran que la proporción de enterobacterias u otros productores de ácidos orgánicos es insignificante.

Parece ser que existe un ciclo biológico de oxidación-reducción por el que se produce una fuerte actividad oxidadora de nitritos a nitratos, y viceversa, una fuerte actividad reductora de nitratos a nitritos, destacando una alta producción de amoníaco, que muy posiblemente se invierte en neutralizar los ácidos orgánicos que pueden haberse producido.

Una de las principales causas de deterioro puede ser el ácido sulfúrico que generan las bacterias quimioautótrofas del azufre, tales como las del género *thiobacillus*, capaces de oxidar los sulfuros, producidos en anaerobiosis por la acción de ciertas bacterias sobre los sulfatos. Tampoco se han encontrado *thiobacillus*, ni otras especies de sulfoxidantes.

Análisis biológicos realizados<sup>17</sup>, después de la apertura controlada de la Cueva, demuestran un incremento significativo de microorganismos en el aire de la Sala de Polícromos, aunque ni en el agua del techo ni en la tierra del suelo se observó incremento alguno.

Recientemente se han observado colonias de algas, bien localizadas en zonas donde no existen pinturas, que han sido estudiadas, estando pendiente la elaboración de un informe por parte del Departamento de Microbiología de la Universidad de Oviedo.

## **IX. Desprendimiento de lascas, fragmentos de roca o del propio estrato en el que se asientan las pinturas**

Según los informes geológicos<sup>13, 18</sup>, las condiciones de estabilidad, desde el punto de vista mecánico e hidrológico, del material rocoso que constituye la Sala es muy superior al de las pinturas. Las calcarenitas que constituyen los estratos del techo tienen una elevada resistencia a la compresión, no acusándose deformaciones del techo por flexión desde que fue pintado. Formaciones dolomíticas del techo constituyen como una viga resistente que soporta a los estratos de calcarenitas, aumentando el coeficiente de seguridad frente al hundimiento. A pesar de todo ello, estando situada la Cueva en la zona senil de un antiguo aparato cárstico en donde predominan los procesos de destrucción a los de reconstrucción litroquímica, hay que admitir siempre la posibilidad de que la estabilidad mecánica fuese precaria, por lo que se requieren estudios más profundos al respecto. Por otra parte, un estudio de vibraciones realizado en la Cueva de Altamira, demuestra la sensibilidad de las galerías al paso de tráfico rodado en las proximidades de la Cueva.

Particularizando sobre la estabilidad hidrológica, el hecho de que los niveles piezométricos actuales estén situados en cotas muy inferiores a las de la Cueva, presupone que la circulación del agua por el techo de la Sala tiene un origen puramente pluviométrico. Un estudio hidralgeológico de la techumbre, utilizando el método del sondeo eléctrico vertical dipolo-dipolo, ha permitido localizar zonas de mayor circulación o estancamiento de aguas, que hay que atribuirles a posibles fracturas y una mayor fisuración de ciertas regiones de determinados estratos.

## **CRITERIOS ADOPTADOS PARA LA CONSERVACION DE LAS PINTURAS**

Una vez hemos obtenido conclusiones sobre el comportamiento de la Sala de Polícromos, tanto en condiciones naturales como en régimen de visitas, basándonos en el gran cúmulo de datos proporcionado por las medidas, nuestro objetivo ahora es intentar establecer una serie de criterios, de tal forma que las variaciones que experimenten los diversos parámetros característicos de la Sala, ante la presencia de personas, no influyan en los procesos de deterioro y que además las modificaciones que se produzcan no sean acumulativas, es decir, que el régimen de visitas sea tal que la Sala pueda recuperarse de las alteraciones introducidas, antes de comenzar el nuevo ciclo de visitas.

Para llevar a cabo nuestro objetivo hemos estudiado, primero por separado y después aditivamente, hasta donde son permisibles las modificaciones de la humedad del ambiente de la Sala, del volumen de agua que baña las pinturas debido a la condensación del vapor, del contenido de gas carbónico en el aire y en el agua de la Sala, y de la temperatura del aire y de las superficies rocosas; estableciendo en cada caso el valor máximo permisible que pueden alcanzar durante la visita y, por tanto, el número máximo de personas que podrían permanecer en el interior de la Sala sin dar lugar a alteraciones de las pinturas, irreversibles y perjudiciales.

## **I. Limitación de las visitas respecto a las variaciones del campo de temperaturas de la Sala**

Tanto desde el punto de vista teórico como del experimental, se ha realizado un estudio de las alteraciones que experimenta el campo de temperaturas de la Sala de Pinturas con la presencia de visitantes. Se han obtenido resultados considerando la permanencia en la Sala, durante diez minutos, de grupos de 5, 10, 15 y 20 personas con un guía, así como con grupos de seis personas, desde uno a cuatro, en secuencias consecutivas, también con una duración de la visita de diez minutos. Durante más de un año se ha experimentado con estos grupos, permitiendo la entrada en la Sala bajo un control riguroso.

Para los distintos índices de ocupación se han medido las temperaturas del aire y del techo de la Sala, así como las alteraciones sufridas por la humedad relativa originadas por la variación de la temperatura del aire, utilizando psicrómetros, sendas térmicas conectadas a un monitor y un termómetro de radiación, realizando las mediciones antes y después de las visitas, hasta que el campo de temperaturas ha alcanzado el valor inicial, antes del comienzo de las mismas. Los tiempos de recuperación térmica de la Sala encontrados experimentalmente coinciden con los que se deducen de nuestros planteamientos teóricos.

Este estudio, en conexión con los posibles procesos de deterioro a los que afecta las variaciones de temperatura, permiten establecer unos criterios para la conservación de las pinturas, que perfilan la limitación de las visitas. Por una parte, se ha impuesto la condición de que las variaciones de temperatura del aire de la Sala no altere a la humedad relativa más allá del 1 por 100, que es el error de la medida. Este criterio tiene su base principalmente en el deseo de evitar las posibles alteraciones microscópicas de volumen de los materiales higroscópicos del techo policromado, que podrían ser germen de procesos de desescamación. Además se evita la posible pérdida de adhesividad y coherencia entre las diferentes sustancias que constituyen la compleja estructura del techo. Por otra parte, se ha impuesto la condición de que la temperatura del techo no se altere o a lo sumo se modifique en órdenes de magnitud similares al error de la medida, es decir, a la décima de grado. Con este criterio se evitan los posibles microdesplazamientos relativos de las superficies de contacto de los diversos materiales que constituyen la superficie del techo, por contracciones y dilataciones que podrían generar el inicio de descascarillamiento. Además, con este criterio se asegura que no se produzcan desecaciones superficiales, con posible pérdida de las propiedades adhesivas de estos materiales, así como de su coherencia.

Por último, otro criterio adoptado en relación a las alteraciones de temperatura es que sean de tal magnitud que el tiempo de recuperación sea relativamente corto, con el fin de que las secuencias de las visitas puedan realizarse con relativa rapidez y no provoquen alteraciones acumulativas.

Todas estas condiciones se cumplen cuando se eligen secuencias de visitas de la forma siguiente: tres grupos de seis personas (cinco visitantes y un guía), que cada uno permanece durante diez minutos en el interior de la Sala y que se suceden consecutivamente sin interrupción; después de esta media hora, se interrumpen las visitas y se deja descansar la Sala durante otra media hora, al cabo de la cual, el campo de temperaturas ha recuperado los valores iniciales quedando la sala dispuesta para otra secuencia de visitas idéntica a la descrita.

## II. Limitación de las visitas respecto a las alteraciones de la humedad y a la condensación del vapor de agua sobre el techo

En un trabajo anterior ya vimos que el tiempo que han de permanecer seis personas en la Sala de Pinturas para alcanzar la saturación del vapor de agua a la temperatura del techo viene dado por  $t_0 = 65,2 \cdot (H_s - H_0)$  minutos cuando  $H$  se expresa en  $\text{gm}^{-3}$  y que resulta distinto para cada mes, ya que lo son la humedad media mensual  $H_0$  y la humedad saturante  $H_s$ , a la temperatura  $\theta$ , del techo.

Una vez que la atmósfera de la Sala está saturada de vapor de agua, la permanencia en ella de ese grupo de personas provoca la condensación de todo el vapor de agua que van exhalando, lo cual se traduce en un aumento del volumen de agua adherido al techo y, en consecuencia, se origina una disminución de la concentración del ion calcio  $[\text{Ca}^{2+}]$ , lo que da lugar a una variación del índice de saturación:

$$IS = \log \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ca}^{2+}]_{\text{eq}}} = \log \gamma$$

El índice de saturación del agua que baña las pinturas tiene un valor medio a lo largo del año de 0,21, que nos indica su carácter incrustante.

Con el fin de estudiar la variación que podría experimentar  $[\text{Ca}^{2+}]$  para modificar « $\gamma$ », sin que llegue a ser  $\gamma = 1$ , introducimos la hipótesis de que, existiendo un exceso de  $[\text{Ca}^{2+}]$  sobre la concentración de equilibrio  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{eq}}$ , es decir, estando el agua sobresaturada de iones de calcio, no es posible que se disuelva más carbonato cálcico, con lo cual el equilibrio  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ , exige que la concentración de bicarbonato  $[\text{HCO}_3^-]$  sea constante y, por tanto, que  $\text{pH} = \text{cte}$ . Si estas dos condiciones se cumplen, necesariamente ha de ser  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{eq}} = \text{cte}$ , luego la modificación que experimente el índice de saturación sólo se debe exclusivamente a la variación del ion cálcico  $\Delta [\text{Ca}^{2+}]$ , producido por dilución.

Hemos tomado el criterio de que la máxima variación de la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  que puede aceptarse ha de ser inferior al error con que se lleva a cabo su medida, que es del orden de 1,0 mg/l. Concretamente, hemos tomado como variación máxima admisible 0,50 mg/l. Si tenemos en cuenta que la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  puede expresarse como:

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{n}{v} \quad (1)$$

donde  $n$  es el número de equivalentes-gramo y  $v$  el volumen de agua en el que están contenidos, se tiene que una variación de  $[\text{Ca}^{2+}]$  puede escribirse de la forma siguiente:

$$\Delta [\text{Ca}^{2+}] = \frac{n}{v} \cdot \frac{\Delta v}{v}, \text{ o sea, } \frac{\Delta [\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ca}^{2+}]} = \frac{\Delta v}{v} \quad (2)$$

Si admitimos ahora que la película de agua que baña el techo de la Sala tiene un espesor medio de 0,05 mm., resulta que el volumen de agua que corresponde a 1  $\text{m}^2$  de techo será de  $1,10^{-2}$  litros. Ahora bien, nuestras medidas han demostrado que la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  es prácticamente constante en el tiempo, por lo cual para los cálculos que vamos a realizar tomaremos el valor medio encontrado de 31,6 mg/l. para cada  $[\text{Ca}^{2+}]$ , sin distinguir entre los diferentes meses del año. Por tanto:

$$\frac{0,50}{31,6} = \frac{\Delta v}{0,05} \quad (3)$$

De aquí obtenemos que la máxima dilución permisible será:

$$\Delta v = 0,0008 \text{ l/m}^2$$

La superficie interior de la Sala de Polícromos es de aproximadamente 450  $\text{m}^2$ , con lo cual la variación total del volumen de agua de la Sala no debe sobrepasar los 0,36 l. Teniendo en cuenta que una persona emite normalmente 0,05 l/h. de vapor de agua, si

tomamos un grupo de seis personas se condensarán 0,3 l/h. de vapor de agua en condiciones de humedad saturante. El tiempo que han de permanecer estas seis personas (5 visitas + 1 guía) en el interior de la Sala para que tenga lugar una variación del volumen de agua de 0,36 l. será:

$$\frac{0,36}{0,3} = 1,2 \text{ horas} = 72 \text{ minutos} \quad (4)$$

Si estando ya la Sala en condiciones de saturación, cada grupo de seis personas lleva a cabo la visita en 10 minutos, se tiene que podrían entrar siete grupos sin que la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  sufriese variaciones superiores a 0,50 mg/l., con lo cual, evidentemente, el agua que baña las pinturas tampoco perdería su carácter esencialmente incrustante ya que al disminuir la concentración del ion cálcico en:

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,5 \text{ mg/l.}$$

resulta para la nueva concentración de calcio

$$[\text{Ca}^{2+}] = 31,1 \text{ mg/l.}$$

y siendo

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{eq}} = 21,4 \text{ mg/l.}$$

se tiene que continúa siendo

$$[\text{Ca}^{2+}] > [\text{Ca}^{2+}]_{\text{eq}}$$

con un índice de saturación medio de:

$$IS = \log \frac{31,1}{21,4} = 0,162 > 0$$

Entonces, en principio, cabe esperar que el número de grupos que diariamente podrían entrar en la Sala de Pinturas, sin que se perjudicasen las pinturas por efecto de la condensación de vapor de agua, sería:

$$n = \frac{t_0}{10} + 7 \quad (5)$$

si  $t_0$  es el tiempo de permanencia en minutos necesario para que seis personas provoquen la saturación de humedad y la visita del grupo dura 10 minutos. Ahora bien, si no existiese ventilación,  $n$  representaría el número de grupos que podrían entrar el primer día de visitas, ya que al día siguiente, al continuar el ambiente saturado de humedad sólo podrían entrar siete grupos, lo cual quiere decir que no basta conocer hasta cuándo puede permanecer el grupo sin afectar a las pinturas por condensación del vapor exhalado, sino que hay que tener en cuenta el tiempo de recuperación de la Sala por ventilación natural de la misma.

Teniendo en cuenta los tiempos de recuperación  $\tau_H$ , los tiempos medios mensuales  $t_0$  para alcanzar la saturación y la máxima variación exigida para la concentración  $[\text{Ca}^{2+}]$  en el agua que baña las pinturas, se ha elaborado la tabla I, en la que se expresa el tiempo máximo de permanencia al día,  $t_H$ , para un grupo de seis personas y el número máximo de grupos diarios,  $n_H$ , de seis personas que, permaneciendo 10 minutos en la Sala, no perjudicarían a las pinturas por condensación del vapor de agua exhalado. Para aquellos meses que el tiempo de recuperación  $\tau_H$  era mayor de 24 horas, el cálculo de  $t_H$  se ha obtenido de:

$$t_H = 24 \frac{t_0}{\tau_H} + 72 \text{ minutos} \quad (6)$$

cuando  $t_0$  se expresa en minutos y  $\tau_H$  en horas.

**TABLA I**

**Número de grupos diarios  $n_H$  de seis personas, que pueden permanecer durante diez minutos en la Sala sin alterar las pinturas por condensación del vapor de agua sobre el techo**

Mes	$t_0$ (minutos)	H (horas)	$t_H$ (minutos)	Número de grupos diarios $n_H$
En. ....	36,5	18,68	108,3	10
Feb. ....	40,4	20,00	112,4	11
Mar. ....	27,4	14,24	99,4	9
Abr. ....	30,0	32,20	94,4	9
Mayo ....	17,0	124,41	75,3	7
Jun. ....	9,1	2,73	81,1	8
Jul. ....	3,3	0,00	75,3	7
Ag. ....	0,0	0,00	72,0	7
Sept. ....	0,7	0,00	72,7	7
Oct. ....	13,0	4,59	85,0	8
Nov. ....	23,5	27,29	29,7	9
Dic. ....	34,6	43,58	91,1	9

**TABLA II**

**Tiempos máximos  $t_c$  de permanencia en la Sala de un grupo de seis personas para que un índice de saturación no se anule**

Mes	$P_{CO_2}$ (% vol.)	IS	$\gamma$	$\epsilon$	$\Delta P_{CO_2}$ (% vol.)	$t_c$ (horas)
En. ....	0,33	0,17	1,47911	0,47911	0,16	5,053
Feb. ....	0,28	0,18	1,51356	0,51356	0,14	4,596
Mar. ....	0,27	0,16	1,44544	0,44544	0,12	3,844
Abr. ....	0,42	0,10	1,25893	0,25893	0,11	3,476
Mayo ....	0,57	0,08	1,20226	0,20226	0,12	3,685
Jun. ....	0,48	0,11	1,28825	0,28825	0,14	4,422
Jul. ....	0,35	0,16	1,44544	0,4544	0,16	4,983
Ag. ....	0,21	0,18	1,51356	0,51356	0,11	3,447
Sept. ....	0,16	0,18	1,51356	0,51356	0,08	2,626
Oct. ....	0,21	0,16	1,44544	0,44544	0,09	2,990
Nov. ....	0,47	0,13	1,34896	0,34896	0,16	5,242
Dic. ....	0,56	0,12	1,31826	0,31826	0,18	5,696

**TABLA III**

**Tiempos máximos  $t_m$  que pueden permanecer un grupo de seis personas en la Sala sin que el aumento de gas carbónico en la misma sea perjudicial para las pinturas**

Mes	$t_m$ (minutos)	$P_{CO_2}$ (% mól.)	Número de grupos diarios
En. ....	56	0,029	5
Feb. ....	57	0,030	5
Mar. ....	50	0,026	5
Abr. ....	50	0,026	5
Mayo ....	24	0,013	2
Jun. ....	171	0,089	17
Jul. ....	222	0,115	22
Ag. ....	94	0,049	9
Sept. ....	92	0,048	9
Oct. ....	90	0,047	9
Nov. ....	43	0,022	4
Dic. ....	63	0,033	6



### III. Limitación de las visitas a causa del aumento de concentración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera de la Sala y del agua que baña las pinturas

Teniendo en cuenta que una persona exhala 17 lh<sup>-1</sup> de gas carbónico, la permanencia de un grupo de personas en el interior de la Sala de Pinturas va aumentando la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el aire de la Sala, y por tanto del CO<sub>2</sub> molecular del agua que baña las pinturas, al ir disolviéndose el gas en ella.

La hipótesis de partida, al igual que en el caso de la humedad, va a consistir en que el índice de saturación durante todo este proceso no llegue nunca a ser nulo; o sea, que el agua nunca pierda su carácter incrustante, y  $\gamma > 1$ , verificándose para la concentración del gas carbónico en el agua que  $[CO_2^{mol}] < [CO_2^{mol}]_{eq}$  y, por tanto, que permanezca constante el pH.

Si nuestro objetivo es determinar lo que puede ocurrir al modificarse exclusivamente la presión parcial del gas carbónico en  $\Delta P_{CO_2}$ , supondremos que no se produce ninguna variación en el volumen de la película adherida al techo; es decir,  $\Delta v = 0$ , y al ser  $[Ca^{2+}] = cte$  en valor medio, también será  $[CO_2^{mol}]_{eq} = cte$ . Entonces, la disolución del CO<sub>2</sub> en el agua conduce a una hidratación de éste, de modo que  $CO_2 + H_2O \rightarrow CO_3H^- + H^+$ , produciendo un aumento del ion bicarbonato, pero como pH = cte, debe ocurrir necesariamente que los iones de hidrógeno generados reaccionen con el ion carbonato, dando lugar a un aumento del ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, por lo que para mantener el equilibrio debe modificarse  $[Ca^{2+}]_{eq}$ . Escribiremos entonces:

$$\frac{\Delta [Ca^{2+}]_{eq}}{[Ca^{2+}]_{eq}} = \frac{\Delta [HCO_3^-]}{[HCO_3^-]} = \frac{\Delta [CO_3^{2-}]}{[CO_3^{2-}]} = \frac{\Delta P_{CO_2}}{P_{CO_2}} \quad (7)$$

Resulta así que, como cada mes, tenemos un valor distinto del índice de saturación IS, y por tanto de « $\gamma$ »; la variación máxima que podría admitirse para « $\gamma$ » es que llegase a valer la unidad. Entonces, siendo

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{[Ca^{2+}]_{eq}}{[Ca^{2+}]_{medio}} \quad (8)$$

escribiremos para la máxima variación relativa de la presión parcial del CO<sub>2</sub>:

$$\frac{\Delta P_{CO_2}}{P_{CO_2}} = \frac{\Delta [Ca^{2+}]_{eq}}{[Ca^{2+}]_{eq}} = \frac{\frac{1}{\gamma} - 1}{\frac{1}{\gamma}} = \epsilon_c \quad (9)$$

por lo que

$$\Delta P_{CO_2} = \epsilon_c \cdot P_{CO_2} \quad (10)$$

Tomando como módulo un grupo de seis personas que permaneciesen t horas en el interior de la Sala, tendríamos para una variación  $\Delta P_{CO_2}$ , de la presión parcial del CO<sub>2</sub>:

$$\Delta P_{CO_2} = \frac{6 \cdot 17 \cdot t}{326.000} \cdot 100 \quad (11)$$

y de aquí que el tiempo máximo de permanencia sería:

$$t_c = 31,96 \epsilon_c \cdot P_{CO_2} \quad (12)$$

En la tabla II se expresan los valores medios mensuales del índice de saturación IS = log  $\gamma$  y de la presión parcial del CO<sub>2</sub>, de  $\gamma$ , de  $\epsilon_c$ , de  $\Delta P_{CO_2}$  y de  $t_c$ .

Ahora bien, lo cierto es que las únicas alteraciones permisibles de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en la Sala de Polícromos son aquellas que, por una parte, no lleguen a provocar que  $\gamma = 1$ , y por otra que la ventilación natural de la Sala logre que la presión del CO<sub>2</sub> alcance el valor inicial que tenía antes de la visita en un intervalo de tiempo igual o menor

que 24 horas para comenzar el ciclo de visitas al día siguiente sin que se produzcan efectos aumentativos.

Los tiempos de recuperación  $\tau_c$  para el  $\text{CO}_2$  fueron estudiados en un trabajo anterior en el que dábamos los tiempos máximos  $t_m$  de permanencia para que la Sala recuperase la concentración  $C_o$  inicial de  $\text{CO}_2$ , en el plazo de 24 horas, a través de la expresión:

$$\tau_c = \frac{397,56}{Q} (0,85 - C_o) \ln [100 (C_i - C_o)] \quad (13)$$

siendo  $Q$  la ventilación en  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$  de aire y  $C_i$  la concentración de  $\text{CO}_2$  alcanzada por la permanencia de seis personas durante el tiempo  $t_m$ .

En la tabla III se reproducen estos tiempos máximos  $t_m$ , así como las variaciones  $\Delta P_{\text{CO}_2}$  producidas y el número de grupos que podrían visitar la Sala durante diez minutos, para cada mes del año. En todos los casos se observa que la alteración  $\Delta P_{\text{CO}_2}$  provocada en la presión parcial del gas carbónico del aire de la Sala no supera jamás los valores que se precisan para provocar una modificación peligrosa del índice de saturación, capaz de modificar el carácter incrustante de las aguas.

#### IV. Limitación del número de visitantes impuesto por los posibles efectos de la acción conjunta de la alteración del campo de temperaturas, de la condensación de vapor de agua y de la variación de la concentración de $\text{CO}_2$

Los resultados que se expresan en las tablas I y III marcan la pauta para determinar el número máximo de grupos de seis personas que podrían permanecer diez minutos en el interior de la Sala de Polícromos sin que se iniciasen los procesos de desescamación, ni de disolución de la roca soporte de las pinturas, y que no tenga lugar la precipitación de carbonatos.

Por otra parte, si además tenemos en cuenta los criterios de conservación adoptados para las modificaciones de la temperatura, el número máximo de grupos de seis personas que podrían permanecer diez minutos cada uno en el interior de la Sala de Polícromos, sería el que se indica en la tabla IV.

Cuadros pág. 216 y 217

Sin embargo, este resultado, como ya indicábamos en el mismo Proyecto que se elaboró para la conservación de las pinturas de Altamira, no debe nunca ser tomado como algo inviolable. Es el resultado de la adopción de unos criterios basados a su vez en hipótesis muy probables, apoyadas en las medidas realizadas, pero que podría ser cambiado si se observasen nuevos fenómenos, no previstos, o se modificasen justificadamente las hipótesis admitidas.

**TABLA IV**

**Número máximo de grupos de seis personas que podrían permanecer diez minutos en el interior de la Sala de Polícromos, según los criterios de conservación adoptados**

Mes .....	En.	Feb.	Mar.	Abr.	My.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Número de grupos .....	5	5	5	5	2	8	7	7	7	8	4	6

## BIBLIOGRAFIA

1. VILLAR, E., *et al.*, *El campo de temperaturas en la cueva de Altamira*. Monografía del C.I.M. de Altamira, Ministerio de Cultura (1983).
2. VILLAR, E., *et al.*, *Microclima de la Sala de Policromos de la Cueva de Altamira*. «Rev. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales», tomo LXXVI, cuaderno 3.º, pág. 686 (1982).
3. VILLAR, E., *et al.*, *La humedad natural de la cueva de Altamira*. Monografía del C.I.M. de Altamira, informe al Ministerio de Cultura pendiente de publicación (1983).
4. VILLAR, E., *et al.*, *La ventilación natural de la Sala de Pinturas de la Cueva de Altamira. Contenido de Radon*. Monografía del C.I.M. de Altamira, Ministerio de Cultura (1983), pendiente de publicación.
5. VILLAR, E., *et al.*, *Flujos de materia en la cueva de Altamira*. Monografía del C.I.M. de Altamira, Ministerio de Cultura (1983).
6. VILLAR, E., *et al.*, *Caracterización cromática del techo policromado de la Sala de Pinturas de la Cueva de Altamira*. Monografía del C.I.M. de Altamira, núm. 9, pág. 8, Ministerio de Cultura (1983).
7. VILLAR, E., *et al.*, *Evolución del color de la Cierva pintada en la Cueva de Altamira*. Monografía del C.I.M. de Altamira, núm. 9, pág. 28, Ministerio de Cultura (1983).
8. VILLAR, E., *et al.*, *Influencia de la presencia de visitantes sobre las temperaturas de la Sala de Policromos*. Monografía del C.I.M. de Altamira, Ministerio de Cultura (1983), pendiente de publicación.
9. VILLAR, E., *et al.*, *Influencia de la presencia de personas en la humedad y en la concentración de anhídrido carbónico de la Sala de Pinturas de Altamira. Tiempo de recuperación*. Monografía del C.I.M. de Altamira, Ministerio de Cultura (1983), pendiente de publicación.
10. BRUNET, J., y VIDAL, P., *Fort de Gaume aux Eyzies: les derniers travaux de conservation*, «Archeologia», 156, págs. 20-32 (1981).
11. VALLE, F. J., *et al.*, *Estudio de la Roca soporte de las pinturas rupestres de la Cueva de Altamira*. Zephyrus, XXVIII-XIX, 5-15 (1978).
12. VILLAR, E., *et al.*, *Estudio del equilibrio gas carbónico-agua-carbonato cálcico, en las aguas que bañan las pinturas de Altamira*. Monografía del C.I.M. de Altamira, Ministerio de Cultura (1983), pendiente de publicación (1983).
13. HOYOS, M., *et al.*, *Características geológico-cársticas de la Cueva de Altamira*. Instituto de Geología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (1981).
14. Información suministrada por el C.I.M. de Altamira.
15. URUBURU, F., *et al.*, *Contaminación microbiana en la Cueva de Altamira (Santander)*. Informe presentado al Ministerio de Cultura (1981).
16. SOMAVILLA, J. F., *et al.*, *A comparative study of the microorganisms present in the Altamira and Pasiega Caves*. Int. Biodeterior, Bull., 14, págs. 13-109 (1978).
17. HARDISON, C., *et al.*, *Contaminación microbiana en la Cueva de Altamira*. Informe presentado al Ministerio de Cultura (1982).
18. GOMEZ LAA, G., *Nota geológica e hidrológica sobre la situación de las Cuevas de Altamira en la provincia de Santander*. Informe presentado al Ministerio de Cultura (1980).