

LA CUEVA DE NERJA (MALAGA): EJEMPLO DE DEGRADACION MICROAMBIENTAL

M. Hoyos Gómez*, V. Soler Javaloyes **

I. CARACTERISTICAS KARSTICAS GENERALES

La cueva de Nerja se encuentra al NO y muy próxima a la localidad de Maro, aunque pertenece al municipio de Nerja, en la vertiente meridional de las estribaciones más litorales de la sierra de Almijara, a 156 m.s.n.m.

De forma resumida puede afirmarse que la cueva de Nerja pertenece a un sistema kárstico complejo poligénico, desarrollado en los mármoles triásicos incluidos por Sanz de Galdeano (1989) en el Manto de Almijara, en el que se distingue una primera fase antigua de karstificación y relleno correspondiente a un paleokarst de edad Plioceno superior/Pleistoceno inferior escasamente conservado, a la que le sigue otra fase de karstificación más amplia y de carácter poligénico desarrollada durante el Pleistoceno inferior-medio, en la que se generan la mayor parte de las cavidades y conductos conocidos de la cueva, comenzando a veces por la karstificación de los propios depósitos cementados del paleokarst precedente, llegándose a distinguir tres etapas de generación de conductos en otros tantos niveles superpuestos, de tal forma, que la morfología actual es el resultado de la conexión de los tres pisos por procesos de colapsos gravitacionales de gran magnitud, parciales o totales y posiblemente relacionados con la neotectónica y sismicidad de la zona.

Se trata de una cavidad de considerables dimensiones de tipo "ramifiorm and spongework" (Palmer 1991) formada por una serie de conductos y salas de más de 4 Km. de desarrollo incluidos en una superficie de 140.000 m.², en una franja de 700 m. de larga por 200 de ancha. El desnivel máximo respecto a la entrada es de -30,6 m. y la cota interior más alta a +36,67 m., con un volumen interior estimado de unos 834.000 m.³ (G.E.S., 1985).

La facilidad de disolución de los mármoles dolomíticos ha favorecido la abundante formación de todo tipo de espeleotemas vadosos de calcita y aragonito, tanto cenitales y parietales como pavimentarios y epiacuáticos, muchos de ellos de gran desarrollo, que forran la mayor parte de las superficies de paredes, techo y suelo de toda la cueva.

La cueva se encuentra actualmente en la zona vadosa y senil del karst sin circulación de agua subterránea, reduciéndose los aportes hídricos a goteos del techo poco importantes y locales en respuesta, con desfase de orden ho-

rario, a las lluvias caídas sobre la superficie exterior inmediata, con un ligero pero sensible aumento de los aportes de carácter estacional, en todo caso siempre con un caudal mínimo, por lo que la formación actual de espeleotemas vadosos es muy reducida en relación a etapas anteriores. La zona freática, con nivel de base kárstico en el barranco de Maro, se alimenta fundamentalmente con la recarga por agua de lluvia que se infiltra desde las cumbres de la sierra de Almijara, ya que las nevadas son escasas y muy esporádicas en dichas cumbres.

Se han distinguido cuatro conjuntos de conductos y galerías, uno desmantelado en el exterior y rekarstificado y relicto en el interior perteneciente al paleokarst, y tres en el interior de la misma bien diferenciados en función de sus características geomorfológicas y particular evolución: Un conjunto externo constituido por las denominadas Galerías Turísticas, otro intermedio que comprende las Galerías Altas y otro interior formado por las Galerías Nuevas. El presente trabajo se refiere al conjunto externo visitado por el público.

II. ALTERACIONES ANTROPICAS

Desde su descubrimiento en 1959, la cueva ha sufrido una serie de obras y remodelaciones para su adaptación al turismo que afectan sobre todo al tercio exterior, que, desde la introducción en la misma de materiales extraños (cemento, maderas, hierros, cables, rellenos artificiales con sedimentos procedentes de excavaciones arqueológicas, gradas permanentes para la celebración de festivales etc.), pasando por la instalación de iluminación con lámparas calientes de gran wattaje, la apertura de dos entradas artificiales y un número excesivo de visitantes, hasta la urbanización y ajardinamiento del exterior con riegos artificiales y aportes de abonos, han modificado sensiblemente el entorno natural exo y endokársticos, sobre todo este último.

De forma resumida, puede afirmarse que dichas modificaciones se traducen sobre todo en alteraciones irreversibles en la morfología de la cueva y de los abundantes espeleotemas que prácticamente recubren en su totalidad paredes, techo y suelo de la misma, y la práctica desaparición de las pocas pinturas prehistóricas existentes sobre éstos en la zona externa. Las alteraciones más significativas atribuibles a la actividad antrópica son, por una parte, la deposición y cementación de una película de polvo pardo procedente de los aportes detríticos antes citados y del polvo introducido y removilizado por el gran número de visitantes, que recubren la superficie de una parte de dichos espeleotemas con la consiguiente pérdida de brillo y colo-

* Departamento de Geología. C.S.I.C. Museo Nacional de Ciencias Naturales. 28006 Madrid.

** Estación Volcanológica de Canarias. C.S.I.C. 38206 La Laguna. Tenerife.

rido natural de los mismos. Por otra, las alteraciones de corrosión superficial e interna de los espeleotemas de la zona externa de la cueva con la formación de sulfato cálcico sustituyendo a la calcita o el aragonito, hidromagnesita en microconcrecciones externas de estalactitas, aparición de la denominada "leche de Luna" (Moon milk) etc.; y finalmente la presencia de nitratos en las aguas de goteo procedentes de los abonos del jardín y abundantes colonias del denominado "Mal Verde" asociadas a los puntos de iluminación, que aunque estudiadas y bien conocidas no han sido eliminadas.

III. SISTEMA DE MEDIDAS

Entre Junio y Agosto de 1986 se instaló y puso a punto un Sistema de Medidas de Parámetros Microambientales diseñado específicamente, mediante un estudio previo, para las características geomorfológicas de la cueva. Dicho sistema consistió básicamente en:

- Una Unidad Central de Adquisición de Datos, consistente básicamente en: Una tarjeta de procesador, con memoria RAM y ROM, conteniendo el arranque e inicialización del sistema; una tarjeta de conversor analógico/digital con dieciséis entradas; una tarjeta de control digital I/O para comando del panel frontal e indicadores luminosos y una fuente de alimentación. Finalmente de las diferentes opciones de salida se optó con salida por impresora por expreso deseo del entonces conservador de la cueva.
- Dos Unidades de Acondicionamiento capaces de acomodar sensores de medida, tanto en corriente como en tensión, proporcionando la alimentación específica en cada caso.
- Cinco sensores de CO₂, tres de ellos provistos de electroválvula comandada desde la unidad central, que permiten la medida en dos puntos diferentes, funcionando por absorción de infrarrojos con un error menor de 1% en el rango de 0 a 3.000 ppm.
- Once sensores de Temperatura con un error de medida inferior a 0.1 °C.
- Once sensores Humedad Relativa en el interior de la cueva de tipo capacitivo, con una resolución mínima del 1%.

El sistema funcionó en registro continuo con una toma de medidas de cada hora para cada uno de los sensores.

IV. CARACTERÍSTICAS MICROAMBIENTALES

El estudio de los parámetros microambientales de la cueva de Nerja se ha realizado en régimen de cueva abierta

con visitantes, por lo que sus condiciones naturales reales y las variaciones estacionales de éstas son prácticamente desconocidas.

IV.1. Número de Visitantes

La cueva de Nerja recibe cada año alrededor de medio millón de visitantes, cuya distribución a lo largo del mismo es muy similar cada año (Figs. 1 y 2). El flujo mayor de visitantes se produce en Agosto donde el n.º de visitantes se sitúa entre 20.000-30.000 visitantes/semana, llegándose a alcanzar cifras de 5.000 visitantes/día, de tal manera que todo el recorrido por la zona visitable es una fila continua de personas sin solución de continuidad. El n.º mínimo de visitantes se produce en los meses de Diciembre-Enero en los que alguna vez solo se llega a los 200 visitantes/día. En primavera, coincidente con las vacaciones de Semana Santa aparece siempre, más destacado que los otros, un máximo relativo situado en 18.000-20.000 visitantes semanales.

IV.2. Temperatura

Los resultados obtenidos más representativos de este parámetro son los siguientes:

—La temperatura aumenta desde la entrada hacia el interior de la zona visitable de la cueva en todas las estaciones del año, siendo este aumento del orden de 6 a 7 °C en invierno (Zona Exterior: Conducto del Descubrimiento 13.10-15.72 °C, Zona Interior: Sala Cataclismo 21.15-22.90 °C), y de 2.5 a 5 °C, en verano (Zona Exterior 16.19-18.70, Zona Interior 18.94-21.90).

—En cada estación climática anual, las oscilaciones entre máximos y mínimos son del orden de 2.5-3.0 °C para cada una de las zonas de la parte visitable de la cueva.

—Las diferencias entre los valores máximos y mínimos, invernales y estivales disminuyen desde el exterior (alrededor de 3 °C) hacia el interior (entre 1 y 2,5 °C), invirtiéndose las temperaturas ligeramente a partir del comienzo de la zona no visitable.

—Las oscilaciones diarias de la temperatura en la Zona Externa responden pobremente a las variaciones del exterior, siendo necesarios aumentos o descensos de 10 °C o más en el exterior, para que en el interior se produzcan respuestas en el mismo sentido de 0.4-0.6 °C y con un cierto retraso horario, siendo escaso el reflejo de la influencia de la aportación de calor por los visitantes. Esto puede observarse en una etapa de afluencia normal con un incremento rápido y masivo de visitantes, donde para temperaturas más bajas exteriores y un aumento de visitantes las temperaturas de ésta zona sufren un ligero incremento de

CUEVA DE NERJA

VISITANTES EN 1987

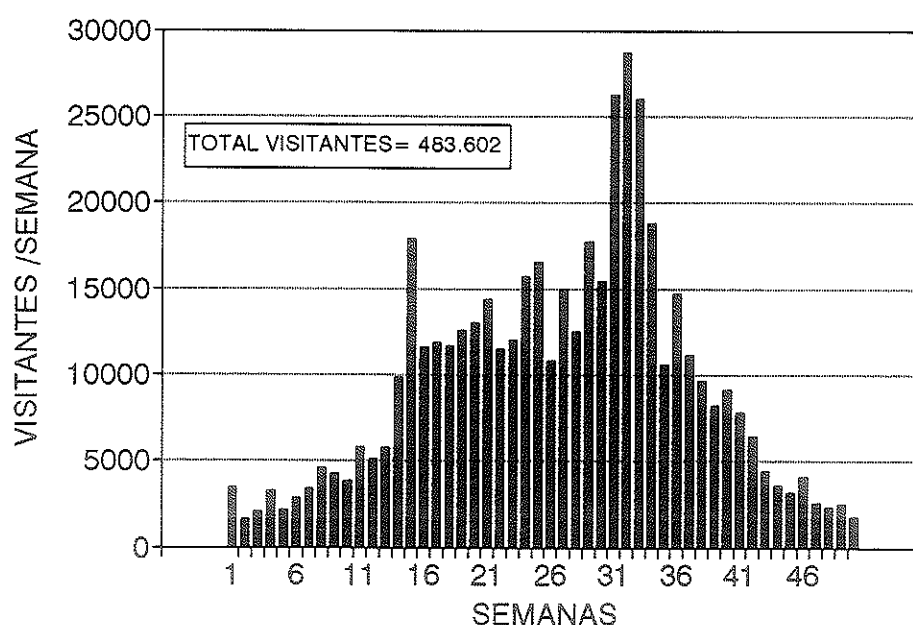


Figura 1

décimas de grado. (Fig. 3, siendo T-3 el sensor de temperatura exterior).

—En la Zona Interna las oscilaciones diarias exteriores parecen no influir (Fig. 4), ya que los picos se acentúan aún descendiendo la temperatura exterior, por lo que este aumento de décimas de grado ($0.4-0.5^{\circ}\text{C}$) debe corresponder con el aumento de visitantes (Fig. 5), ya que el aporte calorífico de los focos puede considerarse como una constante. Esto se manifiesta mejor en la Fig. 6, donde además se aprecia un doble pico diario cuyo mínimo relativo corresponde al apagón de los focos a mediodía y la ausencia de visitantes en ese intervalo de tiempo.

Teniendo en cuenta el importante volumen de aire y la superficie de paredes, techo y suelo de la zona visitable, los aumentos de temperatura diarios y el mantenimiento de ésta con valores relativamente altos implican unos apor-

tes de calor considerables, de los que una parte importante es constante diariamente a lo largo del año, debida a las radiaciones de calor que emite la iluminación, y otra parte, correspondiente a los aportes de los visitantes, que es variable y aumenta desde un mínimo en invierno a un máximo en verano.

Los descensos nocturnos en la temperatura exterior y el cese también nocturno de aportes de calor (iluminación-visitantes) solo dan lugar a descensos de décimas de grado en las diferentes zonas de la cueva siendo menor hacia el interior, y puesto que ventilación existe como veremos más adelante, el escaso descenso nocturno de la temperatura debe atribuirse a que la renovación de aire es lenta e incompleta alcanzando pobremente la Zona Interna, para el tiempo durante la noche en que la cueva permanece cerrada, incluso teniendo a favor el descenso nocturno de la temperatura exterior.

CUEVA DE NERJA

VISITANTES EN 1988

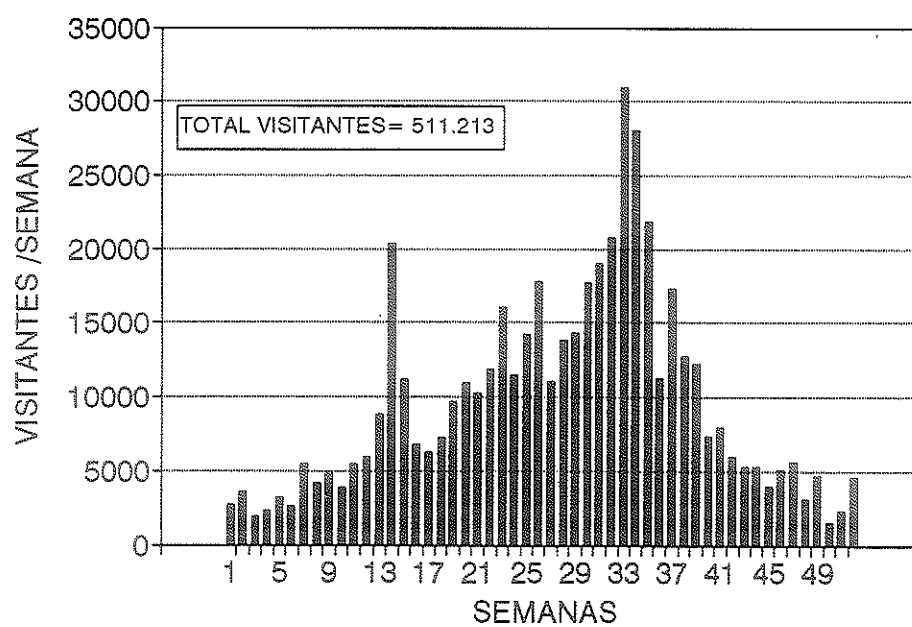


Figura 2

Cueva de Nerja

24 de Marzo - 3 de Abril 1988

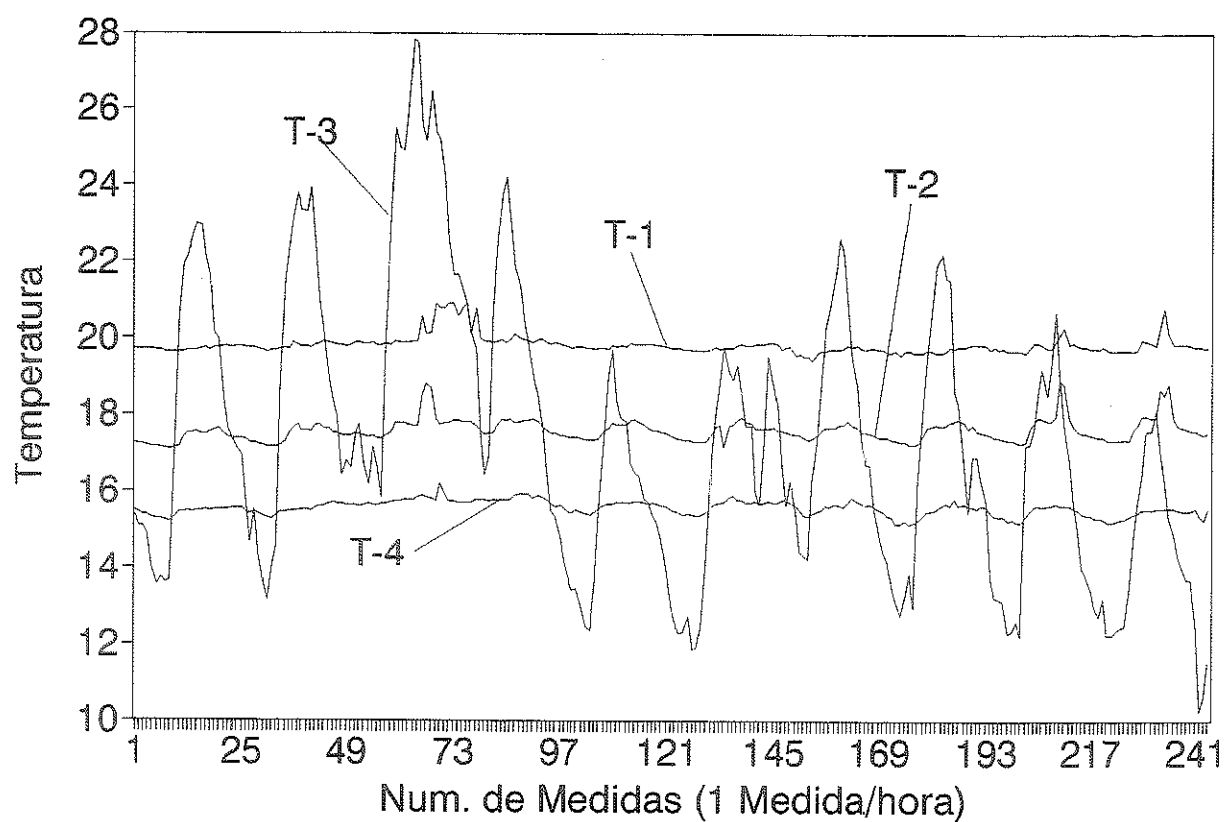


Figura 3

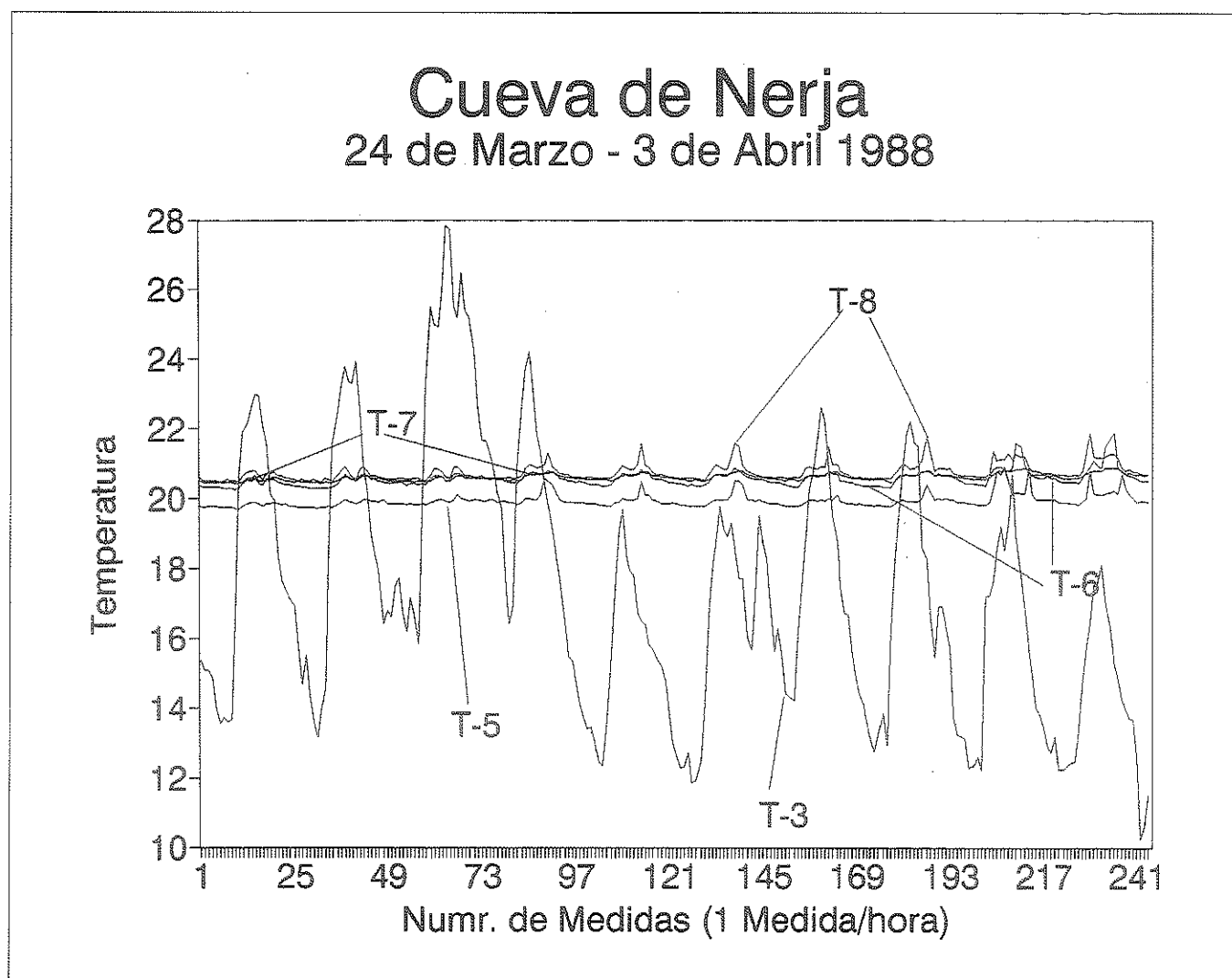


Figura 4

IV.3. Humedad Relativa

La humedad relativa se comporta también siguiendo pautas diferentes entre las zonas Externa e Interna de la cueva y las estaciones del año, siendo un parámetro estrechamente ligado a los aportes de agua de infiltración, relacionados a su vez con la pluviosidad.

En la Zona Externa, en época seca, tanto en invierno como en verano los sensores situados más próximos a la entrada presentan valores de Hr en invierno entre 60 y 100%, estando más próximos a la saturación y mayor número de ellos saturados en verano. Aquellos no saturados se comportan siguiendo pautas de variación paralelas a las de la Hr del exterior hasta que se saturan, siendo la influencia tanto mayor cuanto más al exterior, ya que hacia el interior dicha influencia se amortigua hasta desaparecer (Fig. 7 y 8. H-3 Hr en el exterior). Cuando comienza la llegada de agua de infiltración, las relaciones con las variaciones del exterior se pierden, manteniéndose pautas de comportamiento independientes como en la Zona Interna.

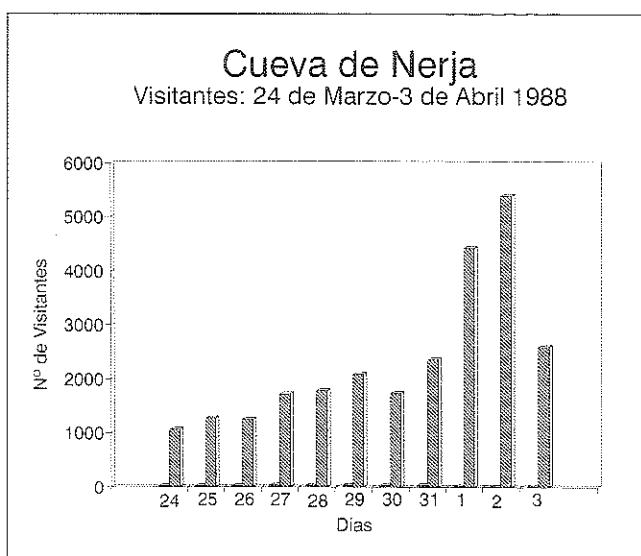


Figura 5

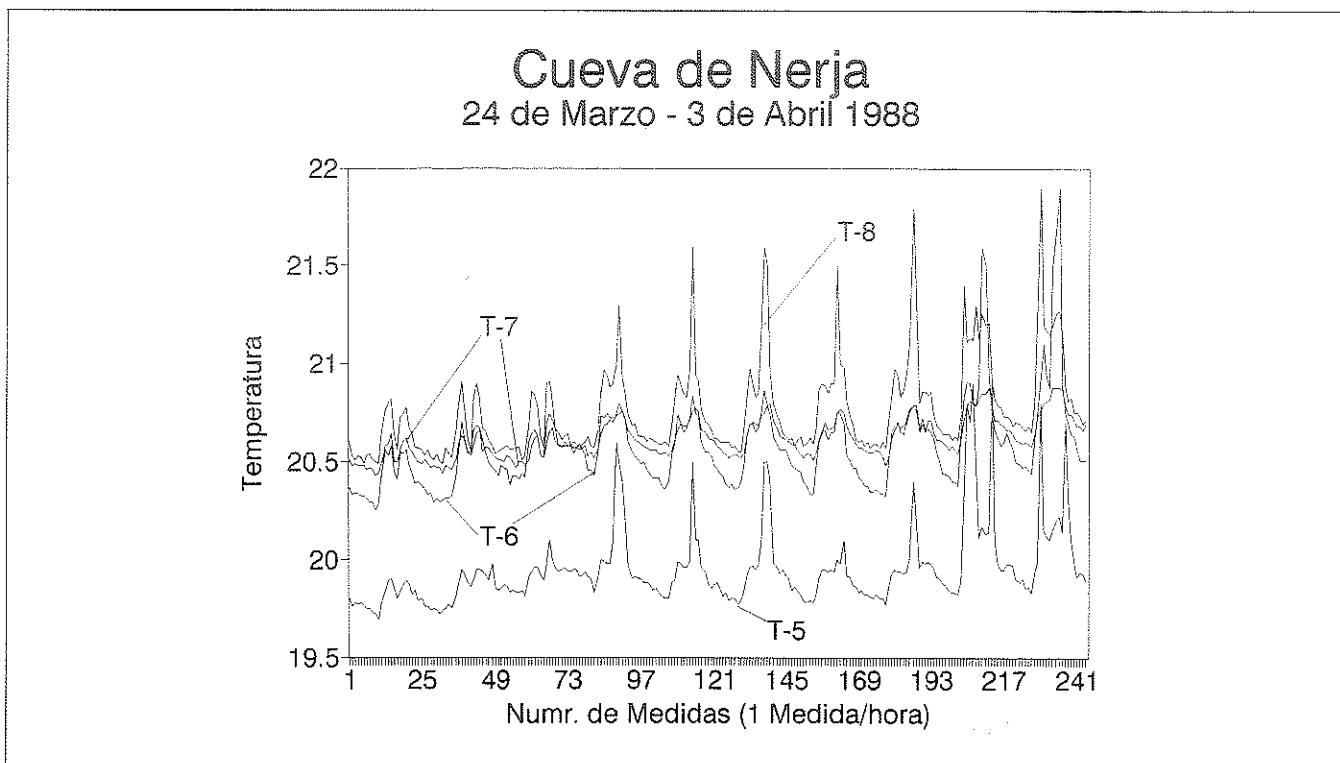


Figura 6

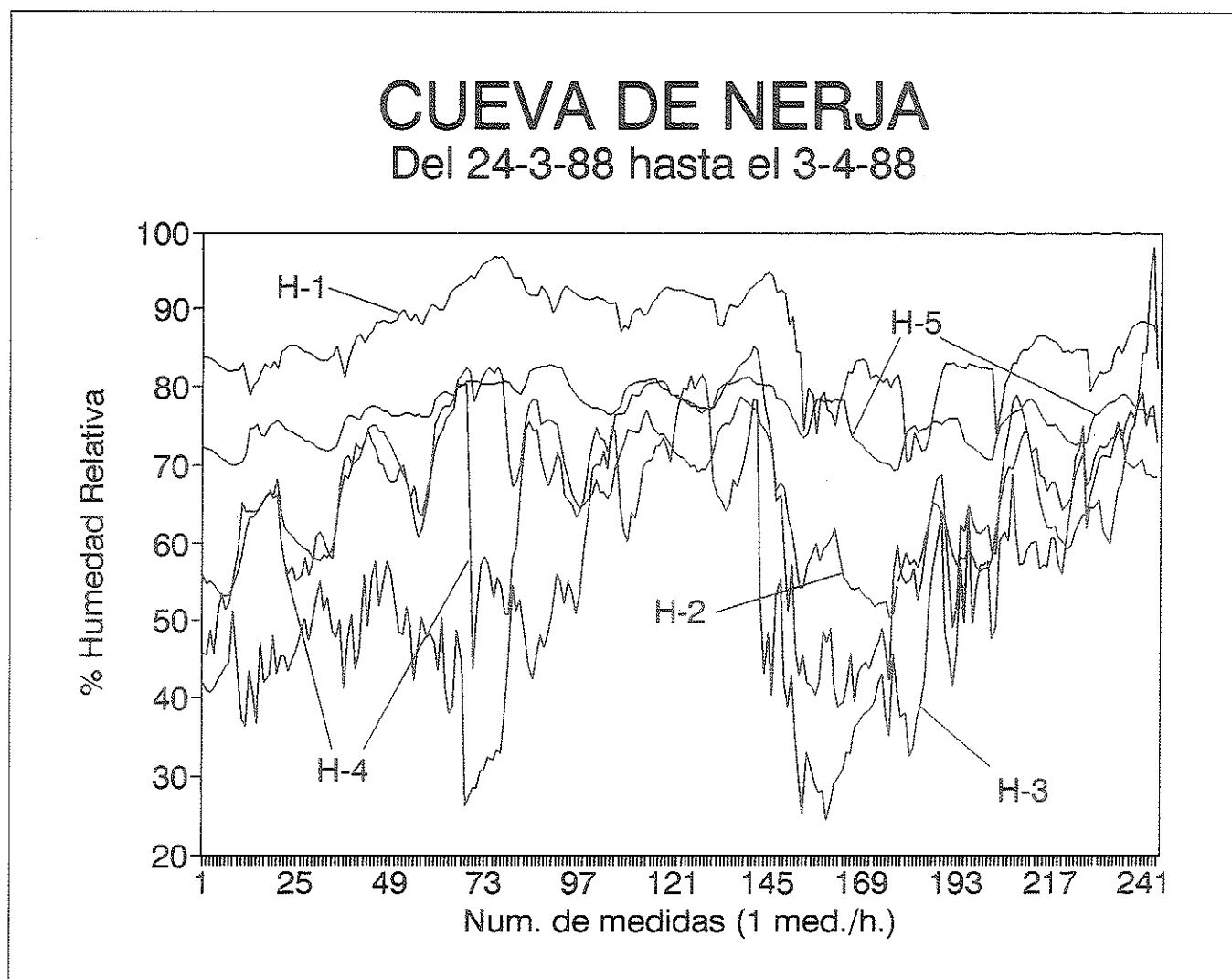


Figura 7

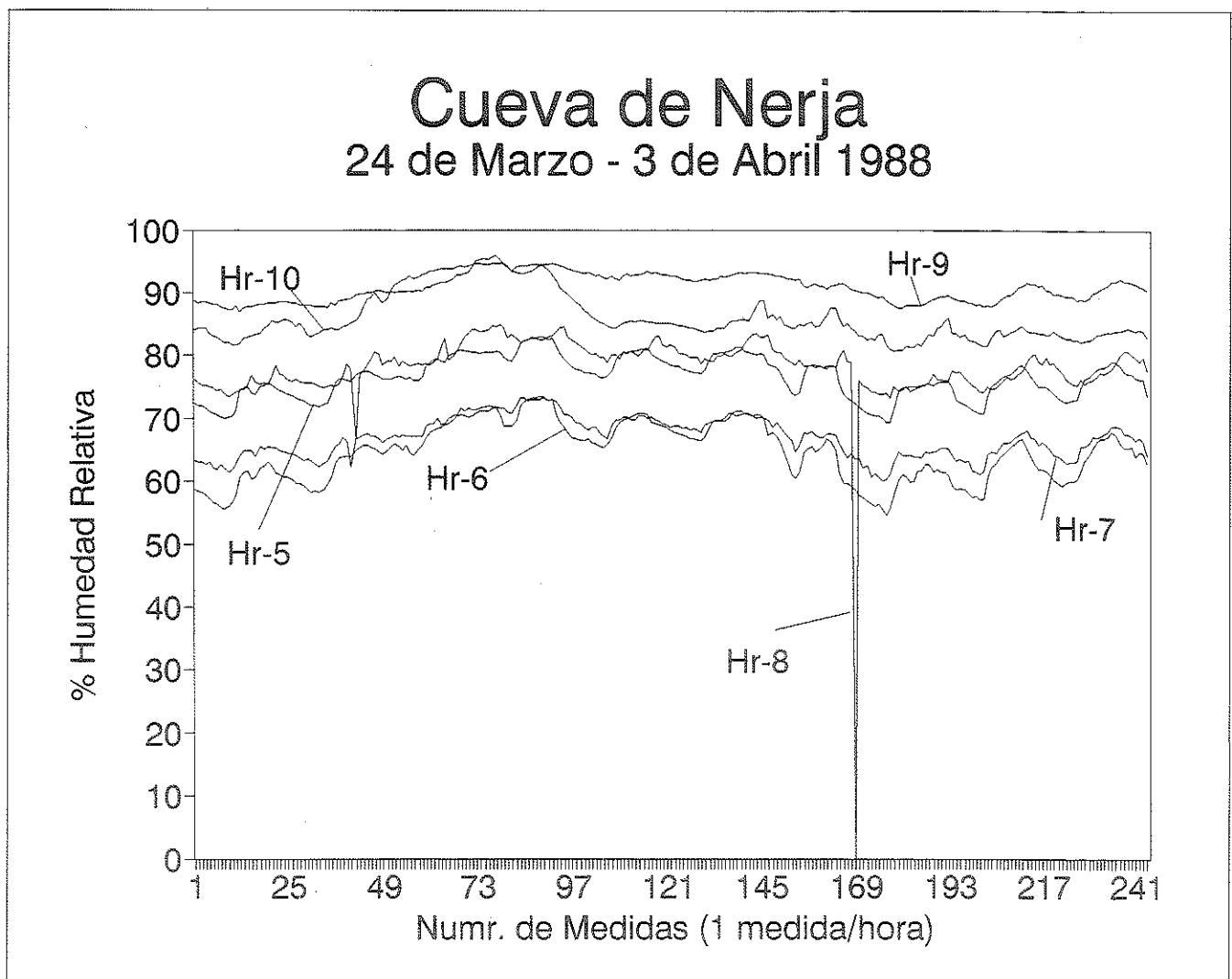


Figura 8

En la Zona Interior, durante la etapa invernal la mayor parte de los sensores se sitúan en valores comprendidos entre 75 y 98% de Hr y el resto saturados, siguiendo pautas paralelas pero independientes de las variaciones exteriores diarias, estando más de acuerdo con la resultante mensual de dichas variaciones diarias aunque algo más amortiguadas. Durante el verano la mayor parte de los sensores alcanzan la saturación y el resto se encuentran con valores cercanos a ella.

Las variaciones diarias de la zona sin influencia exte-

rior son del orden del 5-10% y deben estar relacionadas con el aumento/descenso de temperatura diario debido a los focos de iluminación, ya que siguen las pautas marcadas por la apertura y cierre de la cueva y que para un aumento masivo de visitantes no se observa una variación equivalente en la humedad (Figs. 5 y 8). Aunque no son de despreciar los kilogramos de vapor de agua que se aportan por los visitantes ya que una persona emite durante una hora 50 gr. (Marion 1979), que por 5.000 personas en un día de máxima afluencia representan 250 kg. de vapor de agua.

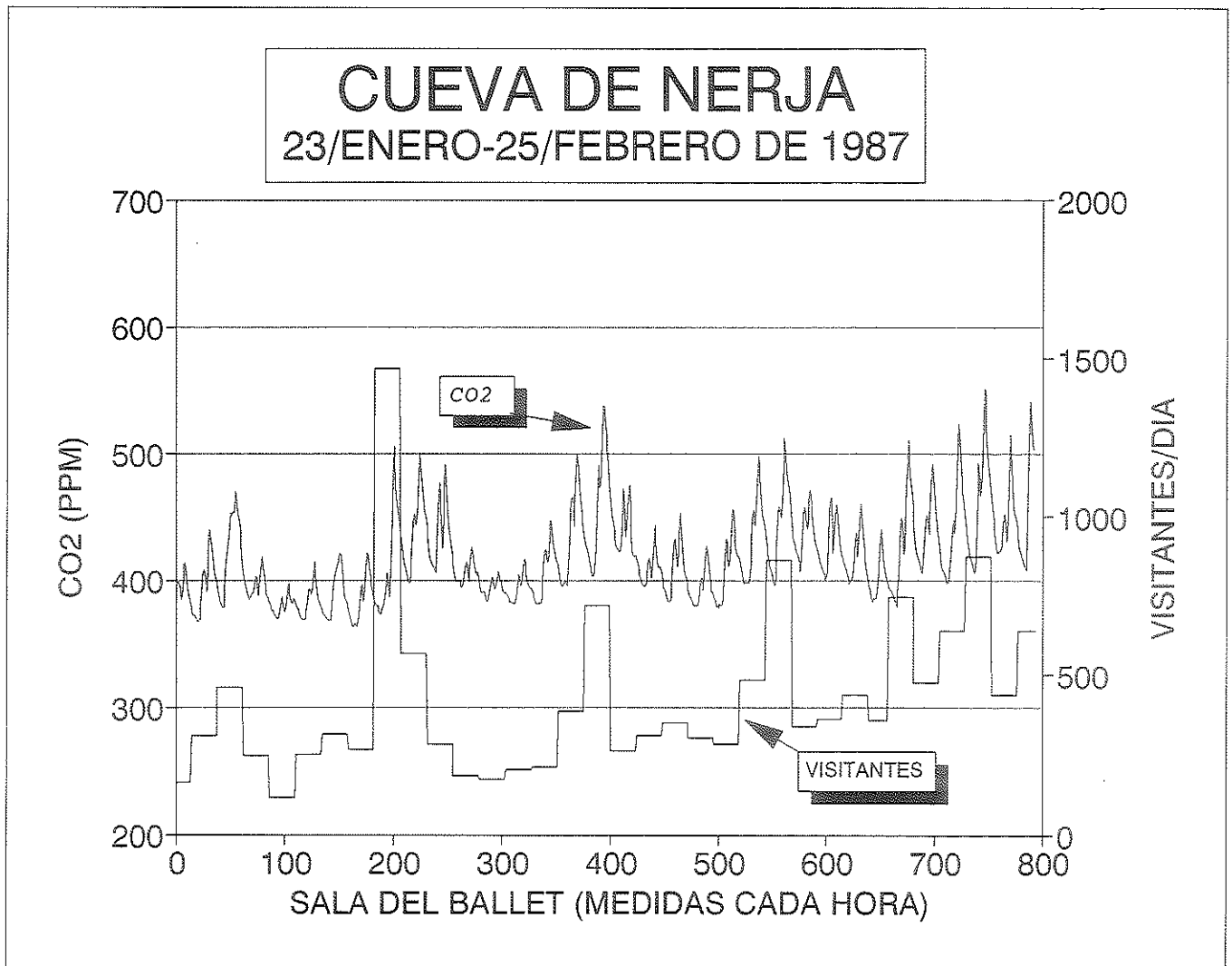


Figura 9

IV.4. Dióxido de Carbono

Las concentraciones de este gas en el interior de la cueva varían considerablemente de una época a otra del año, así en invierno la Zona Exterior se mantiene entre 450-550 ppm., mientras que en la Interior son ligeramente más altos 520-600 ppm. y la Zona no Visitable se sitúa entre 400-450 ppm. En verano, las tasas de CO₂ aumentan sen-

siblemente alcanzándose en la Zona Exterior valores entre 700-2.000 ppm. y en la Z. Interior 750-1.500 ppm., siendo ligeramente más bajos que éstos en la Zona no Visitable (520-1.000 ppm.). Dichas variaciones estacionales están relacionadas con las variaciones de la presión atmosférica exterior como en otras cavidades, pero su influencia es menor que la de otros factores.

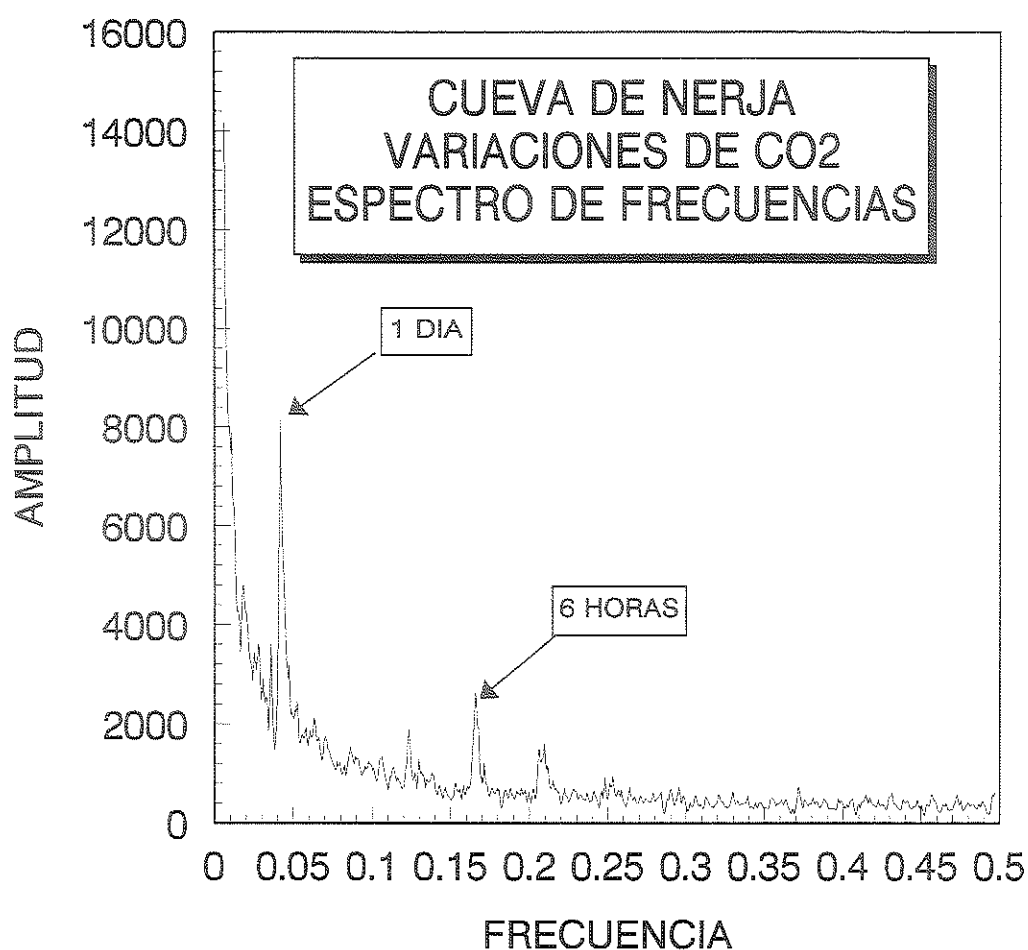


Figura 10

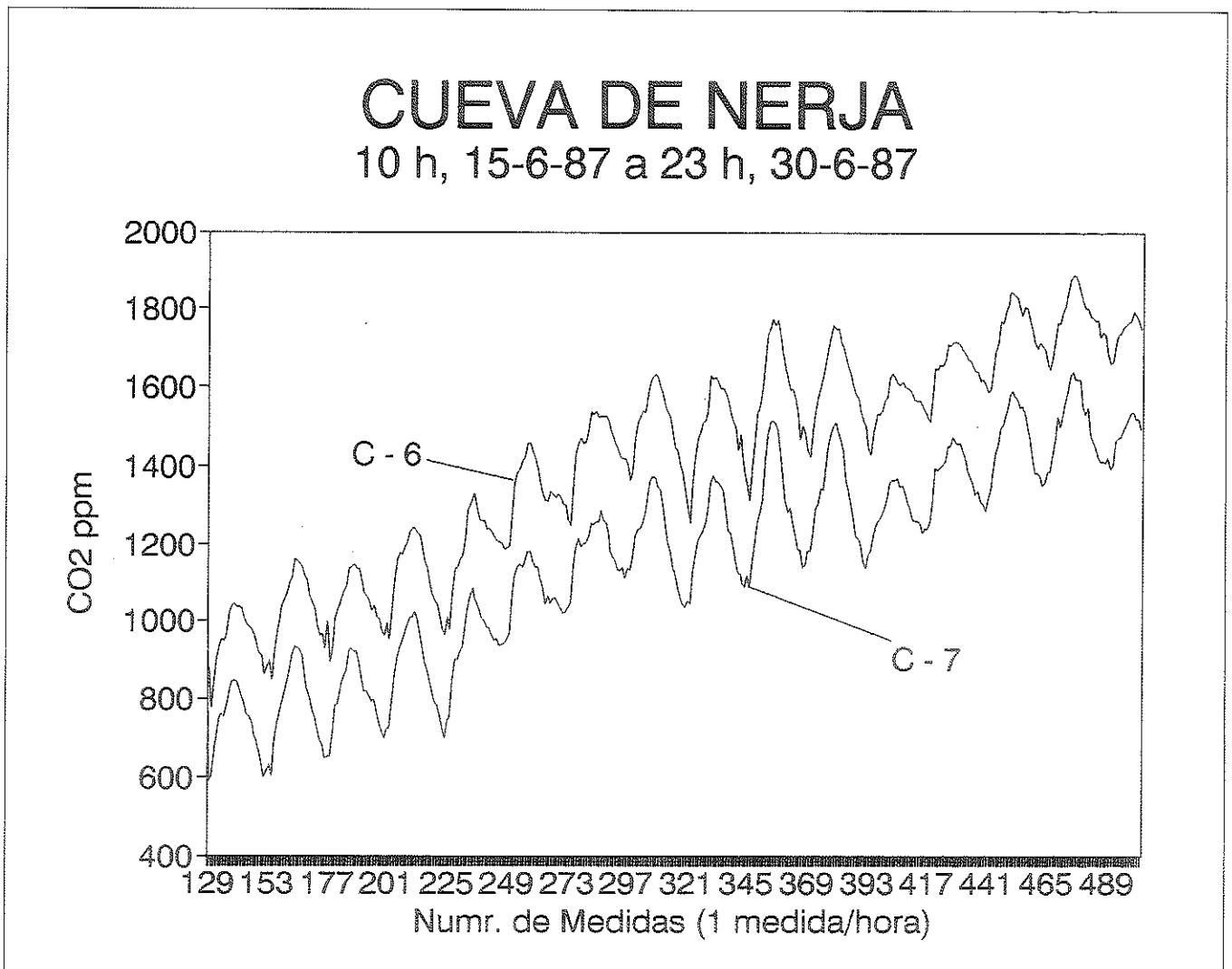


Figura 11

El análisis de las variaciones diarias de la concentración de CO_2 , muestra que en la Zona Externa las oscilaciones pueden alcanzar las 500-550 ppm. diarias, amortiguándose en la Interior a 300-350 ppm. diarias, estando relacionadas la mayor amplitud con una mayor ventilación en la Zona Externa que se atenúa hacia el interior.

Estas oscilaciones presentan un mínimo a la hora de apertura de la cueva, después de haber permanecido cerrada durante la noche, seguido de un aumento pro-

gresivo del CO_2 hasta alcanzar un máximo relativo coincidente con el mediodía, seguido a su vez, de un pequeño retroceso más acentuado en la Zona Exterior, correspondiente al tiempo de cierre de mediodía, para de nuevo alcanzar un máximo próximo o inmediatamente posterior a la hora de cierre por la tarde.

La primera consecuencia deducible de esta distribución es su relación con un factor, como son los visitantes, ligado al tiempo de permanencia abierta de la cueva y capaz de aportar CO_2 , ya que una persona emite en torno a los

17 litros/hora de este gas, que en un día de máxima afluencia con 5.000 visitantes, siendo el tiempo de visita de 1 hora, representa una cantidad nada despreciable de 85.000 litros de CO_2 que se incorporan a la atmósfera de la cueva.

En las figuras (9 y 10) pueden observarse las variaciones de CO_2 en Zona Externa, con sus oscilaciones diarias y su relación con el número de visitantes, así como el espectro de frecuencia correspondientes a este período, en el que se aprecian claramente los picos correspondientes a 1 día y 6 horas, correspondiendo este último con el cierre de la cueva a mediodía.

El incremento de CO_2 , por tanto, está directa y fundamentalmente relacionado con el aumento del número de visitantes/día, que enmascaran en cierto modo los aportes propios del karst. A un aumento de visitantes se produce un incremento proporcional del CO_2 en el interior de la cueva (Figs. 9 y 11), donde las menores tasas de CO_2 corresponden a la época invernal con un número reducido de visitantes (200 visitantes mínimo, 1.300 visitantes máximo) y las mayores concentraciones estivales se alcanzan en el mes de Agosto con máximos en torno a 2.600 ppm. para cifras alrededor de las 5.000 personas/día (Figs. 1 y 2).

El incremento de CO_2 está también relacionado con la ventilación nocturna de la cueva, ya que para cualquier valor de la tasa de CO_2 que se acumule durante el día, la cueva se recuperará con descensos variables que pueden alcanzar cifras de 500-550 ppm. de CO_2 en la Zona Externa y de 200-300 ppm. en la Interna, donde la acción de ésta llega con mayor dificultad y es menos eficaz. Cuando la tasa de CO_2 acumulada durante el día es alta, debida a un gran número de visitantes, la cueva solo se recupera en las medidas señaladas y abre sus puertas con una

tasa de CO_2 inicial más alta que el día precedente, es decir se produce un efecto acumulativo de CO_2 (Fig. 11).

Esto implica que la tasa de visitantes es excesiva en al menos cinco meses del año para la capacidad y tiempo de recuperación nocturno de que dispone la cueva, por lo que se reduce el número de visitantes, o si bien se amplía el tiempo de permanencia cerrada de la misma, si se quieren obtener concentraciones de CO_2 próximas a las normales, que aunque desconocidas deben estar en torno a los valores invernales. Además, la mayor afluencia de público (verano), se da en la época en la que la cueva recibe mayores aportes de agua y por tanto de CO_2 procedente del propio karst.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Patronato de la Cueva de Nerja la financiación y ayuda recibida para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- G.E.S. (1985). "La Cueva de Nerja". Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga. Málaga 87 pp.
- MARION, J.B. (1979). General Physics with Bioscience Essays. Wiley & Sons.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1989). Estructura de las Sierras de Tejeda y de Cómputa (Conjunto Alpujárride, Cordilleras Béticas) *Rev. Soc. Geol. España*.