

CUEVATUR 2022

VIII CONGRESO ESPAÑOL SOBRE
CUEVAS Y MINAS TURÍSTICAS
Pulpí (Almería), 19 al 22 octubre 2022

Minas y Cuevas: Patrimonio Geológico y Turístico

Convoca



Organiza



Editores:

José María Calaforra
Juan José Durán



Minas y Cuevas: Patrimonio Geológico y Turístico

José María Calaforra Chordi
Juan José Durán Valsero
(editores)

Pulpí (Almería), octubre 2022

Comunicaciones del Octavo Congreso Español
sobre Cuevas y Minas Turísticas

Minas y Cuevas: Patrimonio Geológico y Turístico. J.M. Calaforra y J.J. Durán Valsero (eds.), Pulpí (Almería). Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), 2022.

610 págs.; 3,1cm.

ISBN: 978-84-123288-2-0

Portada y contraportada: Composición fotográfica de Mina Rica, San Juan de los Terreros y Geoda Gigante de Pulpí (Víctor Ferrer).

Se autoriza la reproducción y transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, incluido fotografías, grabación o por cualquier otro sistema de almacenar información siempre que se cite su procedencia, autores y editores. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

© Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE)
Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID

ISBN: 978-84-123288-2-0

Depósito Legal: AL-3168-2022

Imprime: INTRO PUBLICIDAD CREATIVA SL. www.intropublicidad.com

PRESENTACIÓN

Cuevas y minas son espacios subterráneos que comparten algunas características y que se diferencian en otras. La más evidente de las diferencias es el origen: las cuevas son elementos geológicos de origen natural, mientras que las minas son vacíos, superficiales o subterráneos, generados por el ser humano. Sin embargo, la realidad no es tan sencilla. Muchas cuevas han sido descubiertas dentro de galerías mineras, o por frentes de canteras a cielo abierto, coexistiendo en ocasiones en un mismo espacio cueva y mina. Un caso emblemático es el de la Geoda de Pulpí, en Almería, una cavidad natural tapizada por completo de grandes cristales de yeso, localizada en el interior de las galerías mineras abandonadas de Mina Rica y hoy declarada Monumento Natural y accesible para su visita turística. Pero existen otros bien conocidos, como por ejemplo el caso de la cueva El Soplo, en Cantabria, que se descubrió igualmente durante la explotación de las labores mineras de La Florida y en la actualidad es una cueva habilitada para el turismo con un elevado valor geológico y un éxito de visitas. Cuevas y minas son, por tanto, espacios subterráneos que pueden ser merecedores de su protección y conservación, y de su puesta en valor como recurso turístico.

La Asociación Española de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), creada en el año 1997, agrupa en su seno tanto a cuevas como a minas turísticas. Una de las señas de identidad más arraigadas de la asociación es el Congreso CUEVATUR, que se empezó a celebrar en el año 2005 y que ahora alcanza su octava edición. CUEVATUR es un foro de encuentro y de debate para científicos, técnicos, gestores y otros expertos, así como de interesados en general en el mundo del turismo subterráneo desde todas sus perspectivas.

En este libro se recogen las comunicaciones presentadas en CUEVATUR 2022, que fue el VIII Congreso Español sobre cuevas y minas turísticas, celebrado en Pulpí (Almería) entre los días 19 y 22 de octubre de 2022, bajo el lema "Minas y cuevas: patrimonio geológico y turístico". En él se recogen un total de 48 comunicaciones presentadas en las sesiones de dicho congreso, mayoritariamente en forma oral, y revisadas por el Comité Científico del mismo.

CUEVATUR 2022 ha sido el lugar de encuentro de gestores e investigadores de las cavidades, el karst y las minas turísticas; estas últimas con auge creciente en nuestro país. Se presentaron experiencias e investigaciones de prácticamente toda la geografía nacional, y algunas de otros países (Israel,

Francia y Alemania). Comunicaciones científicas enmarcadas en Andalucía, Extremadura, Baleares, Cantabria, Asturias, Comunidad de Madrid, Aragón, Canarias, Comunidad Valenciana, Murcia, Castilla la Mancha... y con la multidisciplinareidad que siempre se ha asociado al estudio del medio ambiente subterráneo: geoespeleología, bioespeleología, arqueología y presencia humana, valorización del patrimonio geológico y minero, gestión del turismo subterráneo y protección ambiental.

Los editores agradecen profundamente a los autores de los trabajos publicados su contribución a este libro, así como a los revisores, miembros del comité científico. Igualmente, quieren dejar patente el agradecimiento público al Ayuntamiento de Pulpí, institución que gestiona la visita turística a la Mina Rica, que alberga la Geoda de Pulpí, maravilla geológica de primer orden, y que ha contribuido de manera capital a la organización del congreso. También agradecen al resto de las instituciones y empresas que han colaborado en la organización y la financiación del mismo.

José María Calaforra Chordi
Juan José Durán Valsero
(editores)

Comité Organizador

Coordinador

Manuel Durán Hidalgo

Presidente de la Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE).

Vocales

Juan José Durán Valsero. Vicepresidente de ACTE.

Rafael Pagés Rodríguez. Vicepresidente de ACTE.

Ovidio Altable Argüelles. Secretario de ACTE.

Juan Bautista López Ruíz. Teniente de Alcalde del Ayto. de Pulpí.

Francisco Javier Fernández Amo. Geólogo, TECMINSA S.L.

Milagros Carretero Tortosa. Geóloga, Coordinadora Geoda de Pulpí.

Presidente del Comité Científico

José María Calaforra. Universidad de Almería

Colaboradores

Jesús Morillas Ramos. Geólogo, Geoda de Pulpí.

Rafael Jordá Bordehore. Colegio Oficial de Geólogos.

Andrés Ros Vivancos. Cueva Victoria de Cartagena.

Diego Contreras. Cuevas de Sorbas.

Juan del Olmo Torrente. Cueva de El Puerto de Calasparra.

Pedro Agustín Robledo Ardila. Instituto Geológico y Minero de España..

Índice

José María CALAFORRA CHORDI, Milagros CARRETERO TORTOSA, Lucía MARTEGANI, Fernando GÁZQUEZ SÁNCHEZ, Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS - Evaluación dosimétrica por exposición a gas radón en la Mina Rica – Geoda de Pulpí (Almería)	13
Milagros CARRETERO TORTOSA, Jesús MORILLAS RAMOS, Francisco Javier FERNÁNDEZ AMO, Juan Bautista LÓPEZ RUÍZ, José María CALAFORRA CHORDI - Funcionamiento, organización y gestión de la atracción turística y Monumento Natural de Mina Rica y la Geoda gigante de Pulpí (Almería)	27
Patricia CASTILLO MARTÍNEZ, Pablo BARRANCO VEGA, Yolanda Del ROSAL PADIAL, Cristina LIÑÁN BAENA, Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS, Alberto TINAUT RANERA - Los habitantes invisibles de la Cueva de Nerja	39
Alexander CHRAPKO, Michel RENDA - Comment réaliser un projet parfait dans une grotte touristique?	49
Sergio Raúl DURÁN LAFORET, Juan José DURÁN VALSERO, Raquel MORALES GARCÍA, Pedro Agustín ROBLEDO ARDILA - Mapas y cortes geomorfológicos, elementos clave de la divulgación geológica en cuevas turísticas	59
Sergio Raúl DURÁN LAFORET, Juan José DURÁN VALSERO, José Enrique SÁNCHEZ PÉREZ, Iñaki VADILLO PÉREZ - Descubrimiento de un conjunto excepcional de estegamitas en una nueva cavidad aparecida en el interior de una cantera de calizas en La Araña, Málaga, Sur de España	71
Mohamed EL KADIRI, Andrés ROS VIVANCOS, Hassan AUROHAGE, José AMORÓS, José Luis LLAMUSÍ LATORRE, Mohamed EL AHMADI, Manuel TREMIÑO BRU - Grotte du Chameau, Berkane – Maroc. Una cueva hipogénica para el turismo en la Región Oriental de Marruecos	85
Alba M. FAS BOTIAS, Jorge GARCÍA FERNÁNDEZ – La implementación tecnológica en Coves de Sant Josep (La Vall d’Uxió, Castelló)	97
Concepción JIMÉNEZ DE CISNEROS VENCELÁ, Cristina LIÑÁN BAENA, Celia TORRES BRAVO, Aránzazu PEÑA HERAS, Antonio GONZÁLEZ RAMÓN - Control y análisis geoquímico de la precipitación carbonatada actual en la Cueva de Nerja (Málaga, S de España)	107
Rafael JORDÁ BORDEHORE, Manuel ARLANDI RODRÍGUEZ, Luis JORDÁ BORDEHORE, Alberto BERNARDO SÁNCHEZ, Carmen CRISÓSTOMO MIRANDA - Valoración y protocolos de gestión de riesgos en espacios naturales protegidos subterráneos de Extremadura	119
Jesús Francisco JORDÁ PARDO, Santiago CALLEJA, Miguel POLLEDO, Esteban ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ - La cueva de Tito Bustillo (Ardines, Ribadesella, Asturias, España): 50 + 3 años de investigación arqueológica y gestión de visitas públicas	131

Francisco Javier FERNÁNDEZ AMO, José María CALAFORRA CHORDI - La luminiscencia en minas y cuevas españolas como atractivo Geoturístico	153
Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS, Valme JURADO LOBO, Cesáreo SAIZ JIMÉNEZ, José Luis GONZÁLEZ PIMENTEL, Soledad CUEZVA ROBLEÑO, Roberto ONTAÑÓN PEREDO, Pablo ARIAS CABAL, Tamara MARTÍN POZAS, Sergio SÁNCHEZ MORAL - Control microclimático de la dispersión bacteriana en cavidades con arte rupestre: aplicación de estrategias de conservación para la cueva de La Garma (Cantabria)	163
Ismael FUENTE MERINO, Luis Santiago QUINDÓS PONCELA, Carlos SAINZ FERNÁNDEZ, Daniel RÁBAGO GÓMEZ, Santiago CELAYA GONZÁLEZ - La nueva legislación en el cálculo de dosis debida al radón: ¿un peligro para la gestión de las cuevas turísticas?	177
María GALLEGO FERNÁNDEZ, Rafael PAGÉS RODRÍGUEZ - Comunicación online de Cuevas Turísticas	189
Lilia GARCÍA LORENZO, Javier MENÉNDEZ RODRIGUEZ, Dulce VEGA GONZÁLEZ - El Pozo Sotón, una experiencia turística única. Asturias	203
<u>José Antonio GÁZQUEZ PARRA, Nuria NOVAS CASTELLANO, Manuel FERNÁNDEZ ROS, Rosa GARCÍA SALVADOR, Jaime Mc LENNAN - El Soplao, 15 años telemonitorizado en tiempo real</u>	<u>211</u>
Fernando GÁZQUEZ SÁNCHEZ, Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS, Lucía MARTEGANI, Antonio GONZÁLEZ RAMÓN, Hu HSUN MING, Shen CHUAN CHOU, José María CALAFORRA CHORDI - Monitorización ambiental y dataciones preliminares de espeleotemas en la Cueva de los Órganos (Sierra de Mollina, Málaga)	225
Fernando GÁZQUEZ SÁNCHEZ, Ana MONTSERÍN LOSAS, Lucía MARTEGANI, Manuel GUERRERO MANZANO, Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS, Javier GARCÍA GUINEA, Fernando RULL PÉREZ, José María CALAFORRA CHORDI - Dos décadas de investigaciones científicas en la Geoda Gigante de Pulpí (Almería, SE España)	239
Antonio GONZÁLEZ RAMÓN, Rosa María MATEOS RUÍZ, Concepción JIMÉNEZ DE CISNEROS VENCELÁ, Marian ALONSO MARTÍNEZ - Cuevas inducidas por deslizamientos: tipologías identificadas en el SE de la Cordillera Bética (S de España)	251
Francisco José HOYOS MÉNDEZ - Tour virtual de cavidades. Experiencia en la Gruta de las Maravillas, Aracena. Incorporación de nuevas tecnologías de imagen para documentación del patrimonio subterráneo	267
Carmen LARA ASTIZ, Pedro Agustín ROBLEDO ARDILA, Pere ARNAU - Avances recientes en los hallazgos arqueológicos y paleontológicos de la Cueva de S'Aigua, Menorca	275
Javier LARIO GÓMEZ, Tamara MARTÍN POZAS, Sergio SÁNCHEZ MORAL, Juan Carlos CAÑAVERAS JIMÉNEZ, Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS, Roberto CANO MUÑOZ, Cecilio LÓPEZ TERCERO, Álvaro ROLDÁN MONTES, María Esther MARTÍN GONZÁLEZ, Carlos	

PÉREZ MEJÍAS, Hai CHENG - <i>El Túnel de la Atlántida (Lanzarote): un patrimonio geológico sumergido de interés mundial</i>	287
Cristina LIÑÁN BAENA, Lucía OJEDA RODRÍGUEZ, A. BRAVO, Iñaki VADILLO PÉREZ, Yolanda Del ROSAL PADIAL, José BENAVENTE HERRERA, Luis Efrén FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ - <i>Exploración y detección de flujos de calor en el entorno de la Cueva de Nerja (Málaga) mediante sensores térmicos aerotransportados</i> ...	299
Almudena De la LOSA ROMÁN, Juan José DURÁN VALSERO, Carlos BAQUEDANO ESTÉVEZ, Raquel MORALES GARCÍA, Luis MORENO MERINO, Javier HEREDIA DÍAZ, Fabián Luis LÓPEZ OLMEDO, Amalia ROMERO PRADOS, A. - <i>El Hidrogeodía: una propuesta de divulgación para conocer la relación entre las aguas subterráneas, las formaciones kársticas y las cuevas</i>	309
Yariv MALIHI - <i>Nature protection and management in a highly populated country - Israel 2022</i>	323
Lucía MARTEGANI, Fernando GÁZQUEZ SÁNCHEZ, Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS, Juan GISBERT GALLEGRO, Milagros CARRETERO TORTOSA, Jesús MORILLAS RAMOS, Francisco Javier FERNÁNDEZ AMO, José María CALAFORRA CHORDI - <i>Minerales luminiscentes de la Mina Rica y la "Sala Negra" de Pulpí (Almería)</i>	333
María Esther MARTÍN GONZÁLEZ, Xiomara DUARTE RODRÍGUEZ, Pedro A. SALAZAR CARBALLO, María LÓPEZ PÉREZ, M. Candelaria MARTÍN LUIS - <i>Determinación de los niveles de gas radón en la Cueva del Viento (Tenerife, Islas Canarias): Estudio dinámico y valoración de riesgo radiológico</i>	345
Tamara MARTÍN POZAS, Soledad CUEZVA ROBLEÑO, Ángel FERNÁNDEZ CORTÉS, María GONZÁLEZ-PUMARIEGA SOLÍS, Elsa DUARTE MATÍAS, Marco De la RASILLA VIVES, Juan Carlos CAÑAVERAS JIMÉNEZ, David BENAVENTE, José Luis GOY GOY, Javier ELEZ VILLAR, Cesáreo SAIZ JIMÉNEZ, Caridad ZAZO CARDEÑA, Sergio SÁNCHEZ MORAL - <i>Impacto de un evento de inundación en la comunidad bacteriana de un ecosistema subterráneo somero (Cueva del Pindal, Asturias)</i>	359
Wenceslao MARTÍN ROSALES, Manuel LÓPEZ CHICANO, Ana Belén TORRES ASENSIO, Rosario MOYA DÍAZ - <i>Contribución al conocimiento de las condiciones ambientales naturales de la Gruta de las Maravillas como consecuencia de la Covid19</i>	373
Raquel MARTÍNEZ ÁLVAREZ, Mónica MELÉNDEZ ASENSIO - <i>Aplicación de técnicas de teledetección en el estudio de la generación de dolinas: Camargo (Cantabria)</i>	385
Laura MARTÍNEZ HARO, Cristina MEDINA BERMEJO - <i>Cómo la apertura de la Mina Rica y Geoda de Pulpí ha cambiado la industria del turismo en este municipio</i>	397
Salvadora MARTÍNEZ LÓPEZ, Carmen HERNÁNDEZ PÉREZ, María José MARTÍNEZ SÁNCHEZ, Ascensión BANEGAS GARCÍA, Imad EL JAMAQUI, Luis ARRUFAT MILÁN, Lucía Belén MARTÍNEZ MARTÍNEZ, Pedro ANDREO MARTÍNEZ, Carmen PÉREZ-SIRVENT - <i>Minas, aguas y lumbreras una asociación de interés geoquímico</i> ..	405

Andrea MOLERO MONSONÍS, María Belén MUÑOZ GARCÍA, Javier MARTÍN CHIVELET, María Jesús TURRERO JIMÉNEZ - Caracterización de pátinas de color sobre espeleotemas en la Cueva de Don Juan (Jalance, Valencia)	421
Raquel MORALES GARCÍA, Juan José DURÁN VALSERO, Sergio Raúl DURÁN LAFORET, Pedro Agustín ROBLEDO ARDILA - El estudio geológico de la Cueva del Estrecho (Villares del Saz, Cuenca): una contribución a la puesta en valor del turismo subterráneo	433
Lucía OJEDA RODRÍGUEZ, Iñaki VADILLO PÉREZ, Cristina LIÑÁN BAENA, José BENAVENTE HERRERA - Evolución espacio-temporal de los gases CO₂ y CH₄ y sus relaciones isotópicas (¹³C/¹²C) en la atmósfera de la Cueva de Nerja (Málaga, España)	445
María Leticia PACHECO CABRERA, María Esther MARTÍN GONZÁLEZ, Francisco MESA LUIS - Estudio de estabilidad con escáner laser 3D, vigilancia y seguridad de la Cueva del Viento (Tenerife, Islas Canarias)	459
José Luis GONZÁLEZ PIMENTEL, Irene DOMÍNGUEZ MOÑINO, Valme JURADO LOBO, Bernardo HERMOSÍN CAMPOS, Leonila LAIZ TROBAJO, Ana Teresa CALDEIRA, Cesáreo SAIZ JIMÉNEZ - Las cuevas como recurso biotecnológico	473
Sara GUTIÉRREZ PATRICIO, Valme JURADO LOBO, Leonila LAIZ TROBAJO, Alfredo LÁINEZ CONCEPCIÓN, Cesáreo SAIZ JIMÉNEZ, Ana Zélia MILLER - Estudio microbiológico de las manchas coloreadas de la Cueva del Viento (Tenerife, España)	485
Ana ORTAS, Mariano OLIVÁN, Rafael RUIZ, Amor OLOMI, Jordi BORRÀS, Miguel GIL, José Ignacio CANUDO SANAGUSTÍN, Isabel FANLO GONZÁLEZ, Víctor VIÑALS YÚFERA, Francisco LERA GARCÍA, Rafael LARMA LACASTA, Pablo MARTÍN RAMOS, José Antonio CUCHÍ OTERINO - Aproximación al patrimonio minero de los valles de Bielsa y Chistau (Huesca)	497
Vera PALMA, Nicasio Tomás JIMÉNEZ MORILLO, José María De la ROSA ARRANZ, Sara GUTIÉRREZ PATRICIO, José Antonio GONZÁLEZ PÉREZ, Beatriz CUBERO GARCÍA, Ana Teresa CALDEIRA, Francesco SAURO, Ana Zélia MILLER - Caracterización molecular e isotópica de espeleotemas de tubos de lava de Lanzarote con interés para la astrobiología y la geoconservación	509
Yolanda PALOMO ARRABAL - Turismo Villanúa: evolución, resiliencia e innovación en tiempos de PANDEMIA. Experiencia en la cueva de las Güixas de Villanúa (Huesca)	519
Gabriela RESHEF SCHWARZ - Reserva Natural Cueva de las Estalactitas (Israel). Dirección y gestión	531
Pedro Agustín ROBLEDO ARDILA, Rebeca ÁLVAREZ ALONSO, Juan José DURÁN VALSERO, Sergio Raúl DURÁN LAFORET, Raquel MORALES GARCÍA - Cuevas turísticas litorales y Cambio Global: el impacto de las oscilaciones del nivel del mar sobre el sistema hidrogeológico y la problemática legal	543

Andrés ROS VIVANCOS, María José MADRID BALANZA, Ángel ALCARAZ BERNAL - <i>Mina Cueva Victoria, Cartagena. Una visita minero-paleontológica</i>	555
Miguel Ángel RUIZ TEJADA, M. CRIADO, Juan José DURÁN VALSERO, Sergio Raúl DURÁN LAFORET, Raquel MORALES GARCÍA, Eulogio PARDO IGÚZQUIZA - <i>Documentación geométrica tridimensional mediante métodos avanzados en cavidades complejas: el caso de la Cueva de las Estegamitas (La Araña, Málaga)</i>	567
José Ángel SOLANILLA RODRIGO, Francisco Javier FERNÁNDEZ AMO, Juan OLMO, Lola GUIRAO FERNÁNDEZ, Andrés ROS VIVANCOS, José Luis LLAMUSÍ LATORRE - <i>Cueva del Puerto, Calasparra (Murcia) una cavidad hipogénica. Espeleogénesis y morfologías del recorrido turístico</i>	581
Aritza VILLALUENGA MARTÍNEZ, Jesús Francisco JORDÁ PARDO, Álvaro ARRIZABALAGA VALBUENA, Emmerick MOTTE DARRICAU, Nathalie VANARA, Joëlle DARRICAU - <i>Investigación arqueológica, explotación turística y conservación en una cueva clásica de la Prehistoria franco-cantábrica: la Grotte d'Isturitz (Saint-Martin d'Arberoue, Pyrénées-Atlantiques, Francia)</i>	593

El Soplao, 15 años telemonitorizado en tiempo real

José Antonio GÁZQUEZ PARRA ⁽¹⁾, Nuria NOVAS CASTELLANO ⁽¹⁾, Manuel FERNÁNDEZ ROS ⁽¹⁾, Rosa GARCÍA SALVADOR ⁽¹⁾, Jaime Mc LENNAN ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería. Universidad de Almería.

jpgazquez@ual.es, nnovas@ual.es, mfernandez@ual.es, rgarciasalvador@ual.es

⁽²⁾ Cueva de El Soplao. Turismo del Nansa. direccion@turnansa.com

Resumen

La Cueva de El Soplao (Cantabria, España) es una maravilla de la naturaleza y para preservar su uso sostenible, desde su apertura al público en 2006, ha tenido un seguimiento de sus parámetros medioambientales en tiempo real. Un proyecto novedoso fruto de la colaboración entre geólogos e ingenieros en Electrónica de la Universidad de Almería, ha desarrollado un sistema de telemonitorización en tiempo real específico, para la medición de parámetros ambientales en cuevas turísticas. El sistema registra temperatura, humedad relativa, concentración de CO₂, presión atmosférica, velocidad del aire, presencia y paso de visitantes. Los datos se indexan en una base de datos interactiva. A lo largo de estos 15 años se han realizado estudios de la evolución de los parámetros medioambientales y ello ha permitido un uso sostenible de la cueva. La modificación del frágil microclima en el interior de la cueva puede dañar o destruir las formaciones geológicas específicas, algunas únicas en este lugar. El sistema también brinda una seguridad para los visitantes y los guías; por ejemplo, si se produjese una subida excesiva de la concentración de CO₂, en alguna zona, los guías lo detectarían antes de hacer el recorrido, evitando así cualquier problema. Hasta la fecha, todos los parámetros se han mantenido dentro de rangos aceptables. Una cueva puede ser visitada mientras su microclima es mantenido dentro del rango cercano al estado prístino y los sistemas de monitorización son la herramienta para ello.

Palabras clave: cavidad turística, Cueva de El Soplao, parámetros medioambientales, telemonitorización.

El Soplao, 15 years telemonitored in real time

Abstract

El Soplao Cave (Cantabria - Spain) is a wonder of nature and in order to preserve its sustainable use, since its opening to the public in 2006, its environmental parameters have been monitored in real time. A novel project, the result of collaboration between Geologists and Electronics Engineers from the University of Almería, has developed a specific real-time telemonitoring system for the measurement of environmental parameters in tourist caves. The system records temperature, relative humidity, CO₂ concentration, atmospheric pressure, air speed, presence and passage of visitors. The data is indexed in an interactive database. Throughout these 15 years, studies of the evolution of the environmental variables have been carried out and this has allowed for

a sustainable use of the Cave. Modification of the fragile microclimate inside the cave can damage or destroy the specific geological formations, some of which are unique to this site. The system also provides safety for visitors and guides, e.g. if there is an excessive rise in CO₂ concentration in any area, the guides will detect it before the tour in that area, thus avoiding any problems. To date, all parameters have been kept within acceptable ranges. A cave can be visited as long as its microclimate is kept within the range close to the pristine state and monitoring systems are the tool for this.

Keywords: *El Soplao Cave, environmental parameters, telemonitoring, tourist cave.*

Introducción

Las cuevas (y cavidades subterráneas) se han utilizado desde que los hombres tienen memoria con fines diferentes, como refugio para humanos o para animales, producción de alimentos como quesos o vinos entre otros, hasta su actual explotación como cavidades turísticas. En la actualidad las cavidades de interés turístico, han permitido la acuñación del término geoturismo. El geoturismo se centra en la geología y promueve la conservación de la geodiversidad y el aprendizaje de las ciencias de la tierra en las cuevas. El turismo geológico está en auge y tiene implicaciones socioeconómicas en las localidades donde se realiza, ya que este tipo de turismo implica a un bien natural, que hay que preservar de su destrucción, un desarrollo económico local a través de las empresas de servicios necesarias como transporte, alojamiento, explotación del bien natural, etc. (Buonincontri *et al.*, 2021). Todo estas implicaciones suponen que más de 100 millones de personas dependan de los ingresos directa o indirectamente de este geoturismo en el mundo (Cigna, 2016).

Las cuevas no sólo tienen interés turístico o recreativo, sino científico y cultural, ya que son un registro geológico preservado en el tiempo.

El interés de este turismo se fundamenta en formaciones geológicas, por lo general, únicas de la zona y que constituyen una maravilla de la naturaleza. El principal inconveniente es que estas formaciones se han formado a lo largo de los siglos en unas condiciones climáticas muy específicas y tanto algunos agentes externos como la presencia de los humanos pueden alterar fácilmente su equilibrio químico-físico y biológico, en determinadas ocasiones de forma irreversible (Addesso *et al.*, 2022). En definitiva, la influencia humana como agente externo dominante puede destruir en poco tiempo lo que la naturaleza ha tardado tanto tiempo en construir. Para evitar estas situaciones, hay una tendencia mundial en el sentido de aplicar criterios de sostenibilidad que mantengan estas formaciones en equilibrio medioambiental. Además, el turismo sostenible no sólo implica optimizar la explotación de los recursos ambientales para preservar el patrimonio natural y la biodiversidad, sino que se debe respetar la identidad y la autenticidad cultural de la comunidad anfitriona y garantizar condiciones socioeconómicas a largo plazo mediante los beneficios que producen (Haid y Albrecht, 2021). Los turistas ven como un bien la etiqueta de sostenible y actúa de reclamo publicitario.

En la sustentabilidad ambiental se pondera que el desarrollo turístico debe adaptarse al uso aceptable de los recursos naturales, mediante el respeto a la geodiversidad y a la biodiversidad. Esto es posible mediante la planificación de una forma de turismo que se preocupe por la protección, la preservación, pero también por la mejora del entorno natural de las cuevas, a través de un compromiso informativo y educativo con los turistas (Aly *et al.*, 2021). De esta forma, es posible implementar una estrategia de geoconservación en la que se integren intereses científicos, educativos y recreativos (Čech *et al.*, 2021). Algunos trabajos relacionados con la conservación de El Soplao (Calaforra *et al.*, 2011, Calaforra y Gázquez, 2017) y el cálculo de la visitabilidad a la cavidad (Guirado *et al.*, 2014) fueron la antesala de la importante monitorización ambiental en esta cavidad.

En este trabajo se presentan los resultados de un proyecto novedoso fruto de la colaboración entre geólogos e ingenieros en Electrónica de la Universidad de Almería, que ha dado lugar al desarrollo de un sistema de telemonitorización en tiempo real de la cueva turística de El Soplao, sita en Cantabria (norte de España) (Novas *et al.*, 2017). En la Cueva-Mina de El Soplao se registra temperatura, humedad relativa, concentración de CO₂, presión atmosférica, velocidad del aire, presencia y paso de visitantes. Los datos se indexan en una base de datos interactiva. A lo largo de estos 15 años se ha realizado el estudio de la evolución de estos parámetros y ello ha permitido un uso sostenible de la cueva.

Metodología

La Cueva-Mina El Soplao es una maravilla de la naturaleza que se encuentra en la Sierra de Arnero (Cantabria, norte de España). La cueva se extiende a lo largo de 22.600 m, con apenas 50 metros de variación de altitud, aunque la zona acondicionada para el turismo



Figura 1. Vista de la Sala de los Fantasmas, Cueva de El Soplao.

es de 1500 m. La longitud total del conjunto cueva-mina, incluidas las galerías mineras, es de aproximadamente 52.600 m (Hernández y Mora, 2016). En la figura 1 se observa la vista del sector habilitado al turismo, aunque dispone de más salas de igual o mayor belleza, que atrapa la atención de los miles de turistas que la visitan al año. En este apartado se describe la estructura del sistema, las técnicas de almacenamiento, sensorización y comunicación y finalmente las técnicas de procesado de datos y control del sistema.

Estructura del sistema

En 2005 se establecieron cinco sitios de monitorización o estaciones en distintas zonas de la cueva que se encuentran en la ruta turística (figura 2) y donde se registra temperatura (T), humedad relativa (HR), concentración de CO₂, velocidad y dirección del aire dentro de la cavidad, caudal de goteo, presión barométrica (BP) dentro de la cavidad y estimación del flujo de visitantes a las áreas próximas a las estaciones de medición. También se registra el paso de turistas en dos estaciones de medidas, al inicio de la ruta turística y otra al final de la visita en la cueva. El sistema registra los detalles del número de visitantes por año o por visita. También hay una estación meteorológica exterior para evaluar la correlación con el clima interior (figura 2, Estación M). La instrumentación de las estaciones 1, 2, 3 y V se instaló 1 m por encima del suelo de la cueva en cajas herméticas y cerca de la pared de la cueva. Las estaciones E y S (Entrada y Salida de visitantes) se instalaron camufladas a 20 cm por encima del suelo de la cueva en un estrechamiento de la calzada de entrada y salida (figura 2, estaciones E y S). La estación C o estación de Goteo recoge la cantidad de goteo de agua en la zona de la cueva que mayor filtración recibe. Mediante la contabilización del agua filtrada, la estación C nos ofrece información del tiempo que tarda en filtrarse el agua de lluvia en el interior de la cueva y también ofrece una correlación entre la totalización de una lluvia y la cantidad de agua filtrada en ese punto. En resumen, hay un total de 26 sensores a lo largo de la galería visitable, distribuidos en 8 estaciones (figura 2, estaciones 1, 2, 3, V, C, E, S y M) que están comunicadas y alimentadas a través de un cable especial, que discurre de forma oculta y que finaliza en una Estación Central de Control (figura 2).

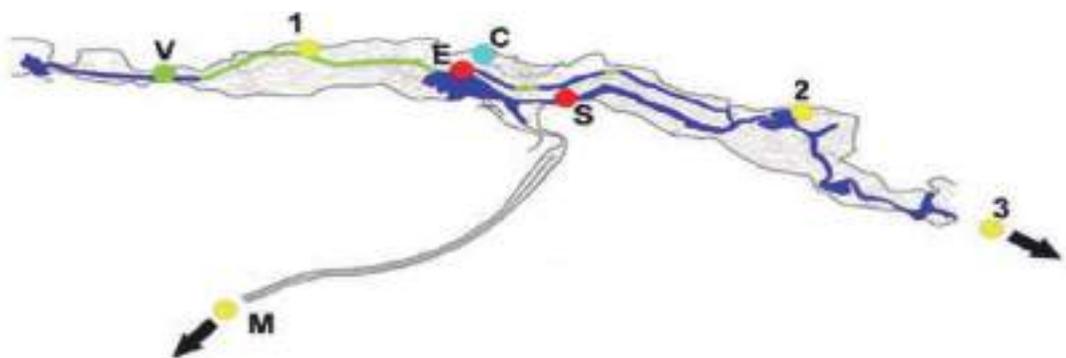


Figura 2. Estructura física de la Cueva del El Soplao.

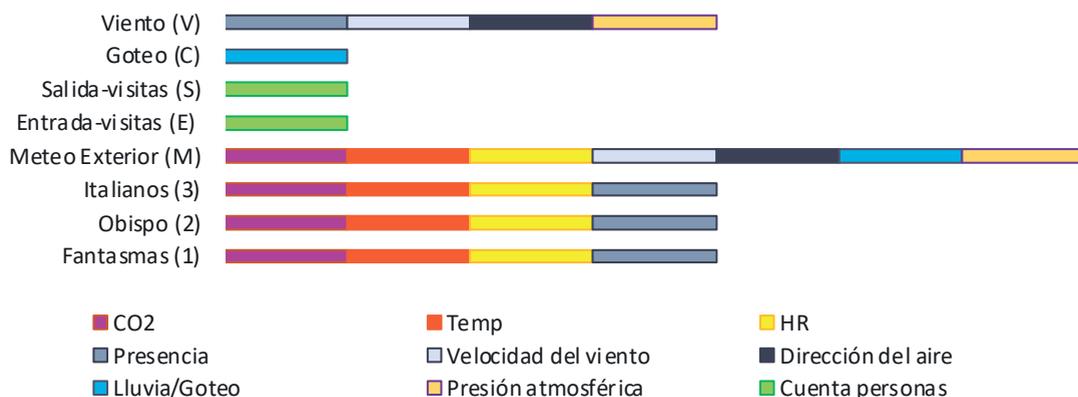


Figura 3. Distribución de sensores en las estaciones de medida de El Soplao.

El sistema tiene una arquitectura dinámica y extensible; ahora cuenta con un total de 26 sensores, 19 situados en el interior y 7 sensores en los alrededores externos de la cueva en la estación meteorológica donde se registra los mismos parámetros ambientales monitorizados en el interior de la cueva, lo que permite la comparación del clima interior y exterior. La figura 2 muestra en color verde y azul el área turística visitable de la cavidad y la distribución de los sensores en las estaciones de medición (estaciones remotas) se muestran en la figura 3. El cable especial de comunicaciones y electricidad recorre toda la galería. Este cable conecta todas las estaciones entre sí y con el centro de control (figura 4). En la zonavisitable de la

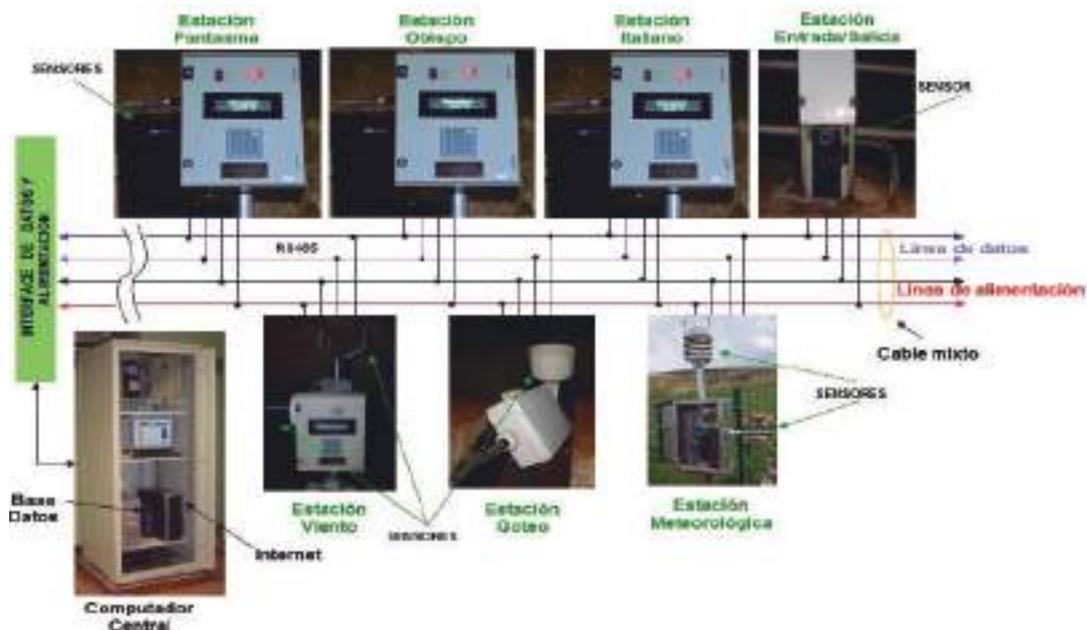


Figura 4. Arquitectura de comunicaciones de la estación central con las estaciones remotas.

cueva se ha instalado iluminación artificial de bajo impacto para preservar las condiciones bioclimáticas del interior.

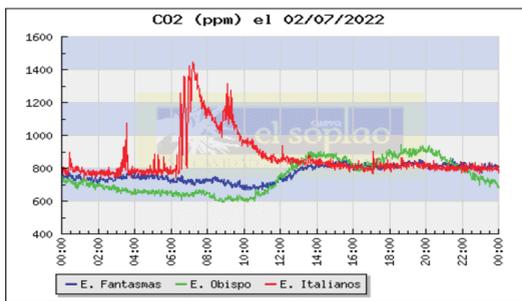
Sensorización, almacenamiento y comunicación

La monitorización en cuevas tiene diversas tecnologías aplicables: desde dataloggers y sistemas cableados con almacenamiento local, hasta los sistemas más avanzados en tiempo real con almacenamiento distribuido y acceso ubicuo. Los sistemas inalámbricos dentro de las cuevas, no tiene demasiado alcance y como se trata de instalaciones fijas, necesitan cables de alimentación y por tanto el cable de comunicaciones no es un obstáculo adicional. Este último sistema es el que se optó implantar en El Soplao y supuso una novedad internacional (Hernández y Mora, 2016), (figura 4). El conjunto de datos procedentes de los sensores es registrado cada minuto, integrado en una base de datos MySQL y se pueden acceder remotamente y visualizar mediante una serie de representaciones gráficas y numéricas de la información recopilada en una estación central.

El sistema de telemetría de El Soplao fue diseñado e instalado por el grupo de investigación de Electrónica, Comunicaciones y Telemedicina "ECT" de la Universidad de Almería en colaboración con el grupo de Geología Ambiental también de la Universidad de Almería. Estos dos grupos habían realizado conjuntamente otros proyectos tecnológicos como como el Karst de Yesos (Gázquez *et al.*, 2003). Este sistema está en funcionamiento desde 2006 (apertura al público). Actualmente, los ingenieros de ECT están a cargo del sistema de seguimiento técnico en colaboración con Turismo del Nansa (responsables de la conservación de la cueva). Los datos también están a disposición de los especialistas en geología (grupo de Geología Ambiental de la Universidad de Almería) junto con la dirección de El Soplao, para analizar su evolución y dotarlos de una herramienta que asegure una conservación óptima de la cavidad.

Procesado de datos y control del sistema

La arquitectura y el motor de datos permiten un estudio dinámico del sistema y el desarrollo de aplicaciones de minería de datos para el estudio de la evolución de los parámetros. Ello permite tener una información exhaustiva y muy valiosa para poder ofrecer el mejor cuidado de la cavidad.



	A	B	C	D	E	F
1	Variable CO2	ppm				
2	Fecha	Hora	Meteorología	Fantasma	Obispo	Italianos
3	02-07-2022	00:00:00				
4	02-07-2022	00:01:00	471	764	737	794
5	02-07-2022	00:02:00	500	756	744	787
6	02-07-2022	00:03:00	497	771	717	804
7	02-07-2022	00:04:00	517	756	727	765
8	02-07-2022	00:05:00	511	759	725	784
9	02-07-2022	00:06:00	514	749	722	787
10	02-07-2022	00:07:00	503	747	737	804
11	02-07-2022	00:08:00	497	742	725	791
12	02-07-2022	00:09:00	506	749	717	765
13	02-07-2022	00:10:00	483	749	712	787
14	02-07-2022	00:11:00	503	749	712	794

Figura 5. Obtención de datos en formato gráfico y numérico (CO₂ del 2/07/2022).

Se pueden consultar datos por pantalla o descargarlos en diversos formatos: XLS, CSV, texto plano etc. Ello nos permite procesarlos directamente con herramientas como Excel o realizar procesados más complejos con aplicaciones como Matlab, un ejemplo se muestra en la figura 5. Mediante el procesado de los datos, se puede obtener información acerca de las tendencias climáticas dentro de la galería, detección de eventos que requieran un estudio más pormenorizado o realizar estudios comparativos con otras cavidades que posean sistema de monitorización.

El control del sistema se alimenta de los datos que se recogen y almacenan, y permite evaluar y programar elementos como la iluminación de la galería, la cual produce calor, el nivel de visitas o determinadas acciones de seguridad. Además, el sistema proporciona información de accesos no autorizados, que pueden alertar al servicio de seguridad.

Resultados

Gracias a la completa bases de datos recopilada a lo largo de los últimos 15 años, se dispone de una información muy valiosa para el estudio de la evolución de la climatología de la cavidad y de posible influencia de factores externos en la misma.

Podemos estudiar mediante sensores situados en dos niveles diferentes de la Galería y una referencia comparativa, por medio de una estación meteorológica exterior, un enorme paquete de datos de Humedad Relativa, Temperatura, concentración de CO₂, Presión Atmosférica, movimientos de aire y Conteo de visitantes en entrada y salida y detección de estos en las estaciones de medida.

Evolución de la humedad relativa

La humedad relativa es un parámetro sensible a la presencia de personas en la cavidad, ya que el aire expirado es rico en vapor de agua, pero no es un parámetro determinante,

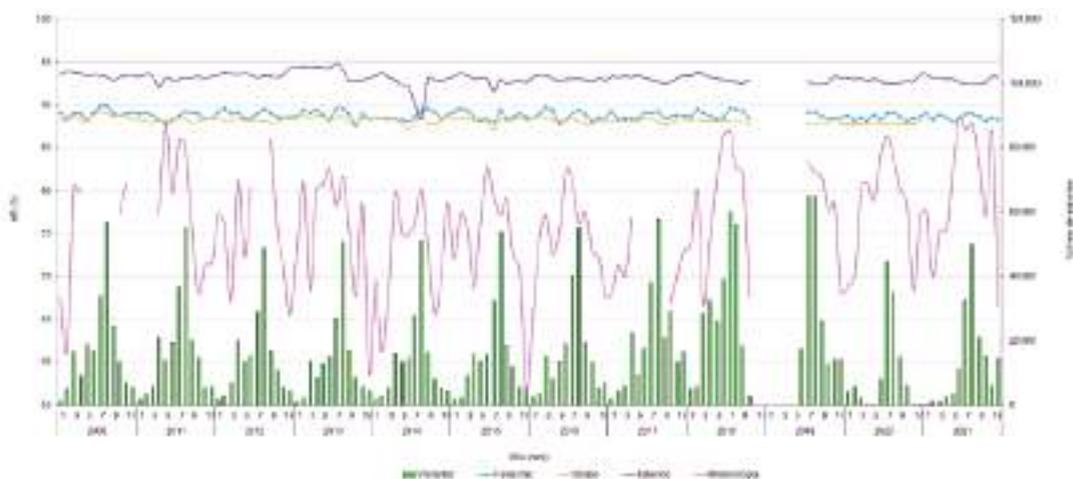


Figura 6. Evolución de la HR entre 2008 y 2022, relación con el número de visitantes.

ya que, de forma natural, las cavidades tienen una humedad relativa próxima a la saturación. La afluencia de agua es típico en cuevas y cavidades, y tanto mayor cuanto mayor tamaño y extensión tiene, factores como la filtración del terreno y la cercanía de acuíferos, favorecen este aspecto.

La figura 6 muestra la evolución de la Humedad Relativa en la cueva de El Soplao desde 2008 a 2022. Se puede observar que los valores son muy constantes, en todos estos años, en torno al 90% en las zonas de Fantasmas y Obispo y del 95% en la zona de Italianos que está a un nivel inferior. La comparación con la humedad relativa exterior (Meteorología) y con la afluencia de visitantes, no aparenta tener correlación apreciable, a pesar de que, en la respiración, el aire exhalado contiene un 6% de vapor de agua.

Evolución de la temperatura

La temperatura es también un parámetro sensible a la presencia humana. Es bien sabido, que de promedio una persona radia unos 100 vatios de potencia, lo que supone una energía de 180 Kjulios por persona y tiempo de visita (estimado en 30 minutos). Este factor no es nada despreciable, a pesar del gran tamaño de la galería, que necesitaría enormes cantidades de energía para elevar su temperatura. En los días de mayor afluencia de visitas, normalmente domingos y la mayoría de los días de agosto, puede haber hasta 2000 visitantes en un día.

La figura 7 presenta la evolución de la temperatura en tres zonas distintas de la cueva de El Soplao y la temperatura exterior, así como el número estimado de visitantes, desde 2008 al 2022. La curva de temperatura exterior presenta un comportamiento cíclico, con el máximo centrado en los meses de verano: julio y agosto, como es de esperar. La entrada de visitantes también tiene un comportamiento cíclico, con el máximo centrado en el mes de agosto, la temperatura de las zonas de la galería de Fantasmas y Obispo, tienen una clara correlación en su máximo con el pico de visitas, que no siempre coincide en el mismo mes con el pico de temperatura externa. Luego como efecto inmediato, son las visitas y no la temperatura

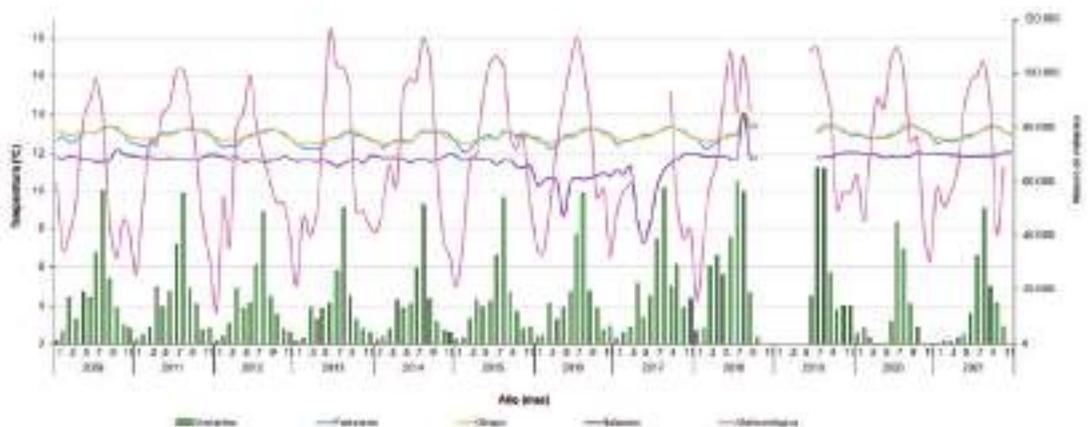


Figura 7. Evolución de la Temperatura entre 2008 y 2022, relación con el número de visitantes.

exterior, el factor más influyente en los cambios de temperatura de la cavidad. No obstante, al ser los sistemas térmicos, sistemas de orden 1, sin duda la temperatura ambiente actúa de forma retardada, colaborando a aumentar la temperatura hasta 30 días después de su pico. Se puede observar como en el año 2020, que por motivos de las restricciones derivadas de la pandemia del COVID-19, hay una más que sensible disminución de visitas, se sigue produciendo el pico de temperatura de $13 \pm 0,5$ °C, con el mismo nivel que años anteriores.

En la zona de Italianos, un nivel inferior que Fantasmas y Obispo, la temperatura es mucho más constante y sobre $1,3$ °C más fría. Aunque entre 2015 y 2018 se observan fenómenos de bajadas térmicas y también un pico, que tienen como explicación las corrientes de aire que se producen, al ser esta zona un sumidero de la galería hacia otras partes más profundas y con comunicación a la superficie.

Evolución del anhídrido carbónico

El anhídrido carbónico, es sin duda un parámetro de vital importancia en el estudio de las galerías, primero porque un valor muy elevado de concentración de CO_2 (> 8000 ppm) puede ser nocivo para las personas que tengan problemas respiratorios o cardíacos, y en segundo lugar porque el CO_2 es un factor que, en niveles elevados, puede influir en el deterioro de las cavidades.

La figura 8 presenta la evolución de la concentración de CO_2 en la galería del El Soplao entre 2008 y 2022. El nivel de CO_2 se mide en las zonas de Obispo y Fantasmas y en el nivel inferior de Italianos, como elementos de comparación se dispone de la concentración de CO_2 externa y en un lugar ajeno a la contaminación del hombre y del número de visitantes. A la vista de la gráfica se observa una clara y potente dependencia de la concentración de CO_2 con la entrada de visitantes. El aire exhalado de las personas contiene un promedio de 3,4% CO_2 y se respiran unos 20 litros de aire por minuto de promedio; esto significa que una persona emite unos 20,5 litros de CO_2 en un periodo de 30 minutos como duración

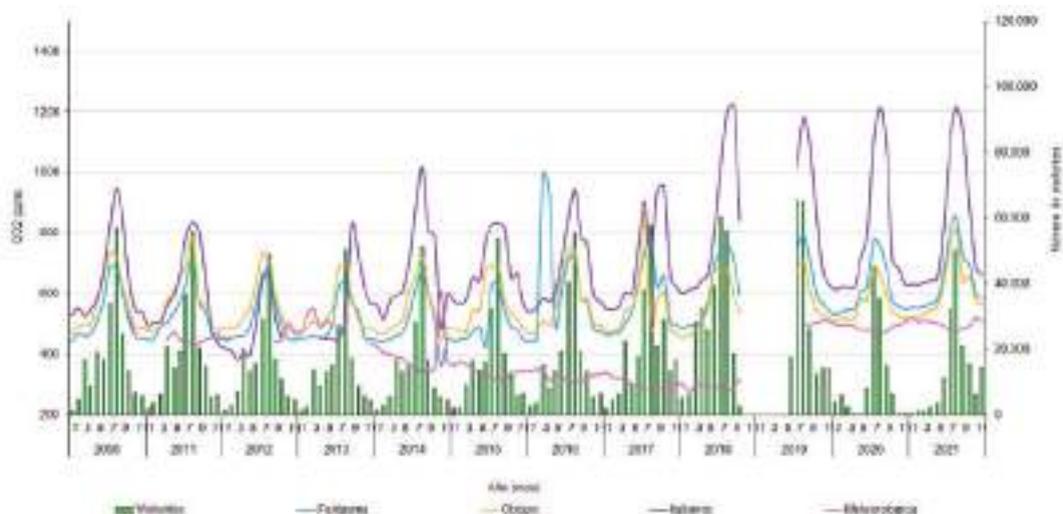


Figura 8. Evolución del CO_2 entre 2008 y 2022, relación con el número de visitantes.

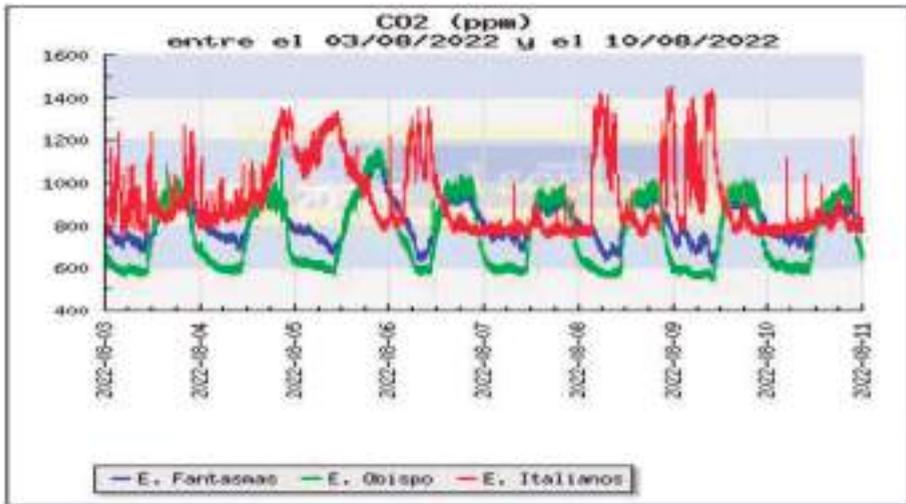


Figura 9. Evolución del CO₂ semanal, entre el 3 y el 10 de agosto de 2022.

típica de una visita. Los días de máxima afluencia, se vierten sobre 40 m³ de CO₂, o lo es lo mismo 80 kg de CO₂, al tener este una densidad de unos 2 Kg/m³. Una cifra de 80 Kg de CO₂ en los días de máxima afluencia es un valor muy importante y sin duda es el factor que establece la concentración de CO₂ que se registra en la galería. La concentración de CO₂ exterior va oscilando entre 400 ppm y 500 ppm y es lo esperado en esta época y sus leves variaciones, no influyen en nada a las concentraciones interiores.

Las zonas de Obispo y Fantasma experimentan variaciones cíclicas diarias, tal como se aprecia en la figura 9, mientras que la concentración en la zona de Italianos, en nivel inferior, es más errática y con valor mucho más elevado. En cuando al promedio mensual de la Figura 8, las zonas de Italianos y Fantasma oscilan entre valores de 500 ppm y 700 ppm, claramente correlacionado con el número de visitantes, mientras que la zona de Italianos llega a alcanzar promedios mensuales de más de 1200 ppm. La explicación del comportamiento de la zona de Italianos se debe a dos factores:

1. La zona de Italianos, al ser de un nivel inferior, actúa como sumidero de CO₂, que es más denso que el aire y recoge el exceso vertido por los visitantes, pasando de aquí a otras zonas de la galería, que tiene más de 20 km cartografiados.
2. Las corrientes de aire, que entran y salen de Italianos a otras zonas inferiores de la galería, alteran de manera rápida la concentración de CO₂. Probablemente, el exceso de CO₂ que la zona de Italianos canaliza a otros lugares más distantes, donde queda en parte embolsado, puede retornar por efectos de los movimientos de aire y cambios de presión, produciendo aumentos súbitos de la concentración de CO₂ en dicha zona. Estos aumentos de CO₂ no correlacionados con visitas, apenas trascienden al nivel superior de Obispo y Fantasma. Los meses de 2020 de menor afluencia de visitantes debido las restricciones de la pandemia, Obispo y Fantasma denotan una reducción del pico de CO₂, mientras que Italianos sigue presentando

picos de más 1200 ppm desde 2018 hasta la actualidad de 2022; el CO₂ acumulado en otros niveles inferiores puede tener la explicación.

3. Otra posibilidad puede ser debido a afloramiento naturales de CO₂ del subsuelo, hecho que ocurre en algunas cuevas (Gabrovšek y Dreybrodt, 2021).

Discusión

Los entornos subterráneos naturales y artificiales, incluidas cuevas, asentamientos subterráneos, sitios de ciudades antiguas, catacumbas, minas y lugares sagrados del hipogeo, tienen un gran atractivo para los turistas debido a su valor ambiental y cultural (Zhang *et al.*, 2022). Pero la explotación turística de estos entornos se ve afectada modificando las condiciones ambientales de los micro o macro sistemas de la formación. Luego es necesario estudiar el impacto con la finalidad de preservarlo a lo largo del tiempo.

Los entornos subterráneos son patrimonios culturales muy distintos a los edificados en la superficie. La humedad relativa (HR) suele ser muy alta (85 % o superior) y estable, hay menor evaporación y las fuentes de sales atmosférica contribuyen solo en una cantidad menor (Zhang *et al.*, 2022). Los visitantes y personal de mantenimiento de estos entornos alteran la humedad relativa. Los gases, como el dióxido de carbono (CO₂), el dióxido de azufre (SO₂) y el trióxido de azufre (SO₃), generalmente causan corrosión debido a la carbonatación y sulfatación bajo la acción del aire húmedo (Mammola *et al.*, 2022). Una HR excesivamente alta en el espacio subterráneo aumenta las actividades de los microorganismos subterráneos, como los mohos mohos (Cailhol *et al.*, 2020; Sanchez-Moral *et al.*, 2021). Por ello, el control de la humedad ambiental es particularmente importante para su preservación, manteniendo sus fluctuaciones dentro de un rango razonable.

Muchas de las cuevas turísticas están dentro de la lista de la UNESCO en los que el principio rector es proteger los bienes considerados únicos y universales para poder disfrutarlos y garantizar que este privilegio se transmita a las generaciones futuras (Buonincontri *et al.*, 2021). Los resultados del análisis de datos obtenidos a lo largo de 15 años en la Cueva-Mina de El Soplao muestran que mediante un control exhaustivo de los parámetros ambientales se puede mantener una explotación turística sin dañar las formaciones de su interior. Para ello es necesario planificar las visitas en función de las condiciones ambientales previas a la visita.

En otros lugares se han realizado estudios de la influencia de las visitas en cavidades turísticas mediante una red de sensores y su monitorización como forma de estudiar el comportamiento del microclima con las visitas como en el caso de estudio. En el estudio (Addesso *et al.*, 2022) se simuló la influencia del flujo del aire y su dispersión junto a las partículas de la respiración en la Cueva Pertosa-Auletta (Italia). Los resultados obtenidos proporcionaron las zonas más vulnerables y como poder planificar las visitas para evitar los ecosistemas más vulnerables durante la visita. Otro estudio utiliza la monitorización

del microclima en la cueva para predecir y gestionar el patrón de ventilación necesario para mejorar la ventilación de la cueva cuando hay personas en la cueva y evitar afectar negativamente a la colonia de luciérnagas que es el mayor atractivo turístico de la Cueva de Waitomo Glowworm (Nueva Zelanda) (Hendy *et al.*, 2022).

Otros autores exponen en sus conclusiones la necesidad de “Revisar las intervenciones técnicas en algunas cuevas, dada la fragilidad y vulnerabilidad del geosistema cavernario, con el fin de hacer un uso sostenible de estas áreas.” Como en el caso del estudio de 12 de estas cuevas, cinco de ellas pertenecen a la Lista del Patrimonio Mundial Natural de la UNESCO, situadas en el paisaje kárstico de la República Eslovaca en Europa Central (Čech *et al.*, 2021). Hasta el momento, el estudio técnico y geológico realizado y puesto en funcionamiento en la Cueva de El Soplao está ayudando correctamente para preservar la cueva en condiciones óptimas, aunque se revisan asiduamente con la finalidad de mejorarlo, a lo largo de estos años se ha mejorado el sistema de presentación de la información, la base de datos y los sistemas de calibración de los sensores.

Conclusiones

La principal conclusión, es sin duda que la monitorización extensa de la cueva de El Soplao, nos proporciona una información muy valiosa para su conservación y su estudio. La segunda conclusión dice que el principal factor humano que actúa sobre la galería y altera de forma más significativa su equilibrio, es el CO₂. 80 Kg de CO₂ vertidos cada día, los días de máxima afluencia, tienen un efecto más que considerable.

Si aún no se puede afirmar con certeza, si cabe la sospecha que importantes cantidades de CO₂ se embolsan en zonas más bajas que Italianos, ya fuera de la zona visitable de galería y parte de él, puede retornar en algunas ocasiones, debido a movimientos de aire o cambios de presión. Y como tercera conclusión, decimos que hasta ahora la salud de cueva de El Soplao es buena, en función del ritmo de visitantes, pero que no se descarta que en un futuro se deban restringir el número de visitas, si se llega a evidenciar una alteración persistente, de algún parámetro que así lo requiriese.

Agradecimientos

Se agradece a la Consejería de Turismo de Cantabria por haber confiado en investigadores de la Universidad de Almería, la realización de este proyecto, también a la empresa Turismo del Nansa y Dirección del El Soplao que también año a año siguen contando con la Universidad de Almería para la conservación de este sistema de medida.

También agradecemos a la Junta de Andalucía, Universidad de Almería y CIAMBITAL, que a través de las ayudas al grupo de investigación TIC019, permiten dedicar más medios para investigar en la mejora de los sistemas de medida y en la interpretación de los informes medioambientales. Y por último nuestro sincero agradecimiento a José María Calaforra, por invitarnos a realizar el presente trabajo.

Referencias

- Addesso, R., Pingaro, S., Bisceglia, B., Baldantoni, D. (2022). Sustainable Tourism and Conservation of Underground Ecosystems through Airflow and Particle Distribution Modeling. *Sustainability*, 14(13), 7979. <https://doi.org/10.3390/su14137979>.
- Aly, M. N., Hamid, N., Suharno, N. E., Kholis, N., Aroyandini, E. N. (2021). Community involvement and sustainable cave tourism development in tulungagung region. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 12(2), 588–597. [https://doi.org/10.14505/jemt.v12.2\(50\).28](https://doi.org/10.14505/jemt.v12.2(50).28).
- Buonincontri, P., Micera, R., Murillo-Romero, M., Pianese, T. (2021). Where does sustainability stand in underground tourism? A literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22), 12745. <https://doi.org/10.3390/su132212745>.
- Cailhol, D., Ciadamidaro, L., Dupuy, D., Allegra, S., Girardot, F., Pfendler, S. (2020). Fungal and bacterial outbreak in the wine vinification area in the Saint-Marcel show cave. *Science of the Total Environment*, 733, 138756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138756>.
- Calaforra, J.M., Gázquez, F. (2017). *Conservación y espeleotemas "endémicos" de la cueva El Soplao*. 1er Congreso Científico Internacional de Cuevas y Minas "El Soplao", 203–221. Celis, Cantabria.
- Calaforra, J.M., Fernández-Cortés, A., Gázquez-Parra, J.A., Novas, N. (2011). Conservando la cueva de El Soplao para el futuro: control de parámetros ambientales. In: *El Soplao: una ventana a la ciencia subterránea*. El Soplao S. L y Conserjería de Cultura. Turismo y Deportes del Gobierno de Cantabria (ed.), 52–57.
- Čech, V., Chrastina, P., Gregorová, B., Hroněk, P., Klamár, R., Košová, V. (2021). Analysis of attendance and speleotourism potential of accessible caves in karst landscape of Slovakia. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13115881>.
- Cigna, A. (2016). Tourism and show caves. *Zeitschrift Für Geomorphologie*, 60(2), 217–233. <https://doi.org/10.5038/1827-806x.29.1.1>.
- Gabrovšek, F., Dreybrodt, W. (2021). Early hypogenic carbonic acid speleogenesis in unconfined limestone aquifers by upwelling deep-seated waters with high CO₂ concentration: A modelling approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2895–2913. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2895-2021>.
- Gázquez, J. A., Calaforra, J. M., Novas, N., Fernández-Cortés, A. (2003). Intelligent telemetry watches cave visitors. *IEE Electronics Systems and Software*, 1(3), 24–27. <https://doi.org/10.1049/ess:20030304>.
- Guirado, E., Gázquez, F., Fernández-Cortés, Argumosa, A., Calaforra, J.M. (2014). Cálculo de la visitabilidad máxima en cavidades turísticas mediante el método Cavix: El Soplao (Cantabria). *Cuevatur*. Primer Congreso Iberoamericano y Quinto Congreso Español sobre Cuevas Turísticas, Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), En: *Iberoamérica Subterránea* (J.M. Calaforra y J.J. Durán, eds.), 199–204. Aracena.
- Haid, M., Albrecht, J. N. (2021). Sustainable tourism product development: An application of product design concepts. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14), 7957. <https://doi.org/10.3390/su13147957>.
- Hendy, C. H., Merritt, D. J., Corkill, S. (2022). Anthropogenic impacts on the Glowworm Cave, Waitomo, New Zealand: a microclimate management approach. *International Journal of Speleology*, 51(1), 59–68. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.1.2411>.
- Hernández, J. M., Mora, V. (2016). *NUEVOS DESCUBRIMIENTOS EN LA CUEVA DE EL SOPLAO*. 10, 58–73.
- Mammola, S., Meierhofer, M. B., Borges, P. A. V., Colado, R., Culver, D. C., Deharveng, L., Delgado, T., Di Lorenzo, T., Dražina, T., Ferreira, R. L., Fiasca, B., Fišer, C., Galassi, D. M. P., Garzoli, L., Gerovasileiou, V., Griebler, C., Halse, S., Howarth, F. G., Isaia, M., ... Cardoso, P. (2022). Towards evidence-based conservation of subterranean ecosystems. *Biological Reviews*, 97, 1476–1510. <https://doi.org/10.1111/brv.12851>.
- Novas, N., Gázquez, J. A., MacLennan, J., García, R. M., Fernández-Ros, M., Manzano-Agugliaro, F. (2017). A real-time underground environment monitoring system for sustainable tourism of caves. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2707–2721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.005>.
- Sanchez-Moral, S., Jurado, V., Fernandez-Cortes, A., Cuezva, S., Martin-Pozas, T., Gonzalez-Pimentel, J. L., Ontañón, R., Saiz-Jimenez, C. (2021). Environment-driven control of fungi in subterranean ecosystems: the case of La Garma Cave (northern Spain). *International Microbiology*, 24(4), 573–591. <https://doi.org/10.1007/s10123-021-00193-x>.
- Zhang, J., Kwok, H. H. L., Luo, H., Tong, J. C. K., y Cheng, J. C. P. (2022). Automatic relative humidity optimization in underground heritage sites through ventilation system based on digital twins. *Building and Environment*, 216(January), 108999. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108999>.



Patrocinan:

