



MEMORIA FINAL DE PROYECTO

**PLATAFORMA TECNOLÓGICA MULTIUSO
PARA EL ESTUDIO DE PINTURAS, RESTOS
ÓSEOS Y ÚTILES PREHISTÓRICOS POR
MEDIO DE MICRO-ESPECTROSCOPIA
RAMAN PORTÁTIL.**

PROYECTOS DE I+D CONVOCATORIA 2021

SODERCAN Gobierno de Cantabria

CONTENIDO

A. DATOS DEL PROYECTO	3
B. RESULTADOS CONSEGUIDOS	4
1. Creación de la plataforma tecnológica multiusuario	5
2. Museo de prehistoria y arqueología de Cantabria (MUPAC)	7
3. Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria (IIIPC)	8
4. Yacimiento de ámbar El Soplao (Rábago)	10
5. Cueva de La Pasiega (Puente Viesgo)	11
6. Yacimiento Gran Dolina de Atapuerca (Burgos)	13
C. OBJETIVOS ALCANZADOS	13
1. RESULTADOS	13
2. FORMACIÓN DE EXPERTOS	14
3. TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO	15
D. DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO	15
E. CONCLUSIONES FINALES	15

ANEXOS (documento aparte):

ANEXO 1: *DOCUMENTO LIBRO 1*

ANEXO 2: *DOCUMENTO ART 2*

ANEXO 3: *DOCUMENTO TFG1. Fernando Frías García Lago*

ANEXO 4: *DOCUMENTO TFG2. Irene Romo Díez*

A. DATOS DEL PROYECTO

TITULO:

Plataforma tecnológica multiuso para el estudio de pinturas, restos óseos y útiles prehistóricos por medio de micro-espectroscopia Raman portátil.

INVESTIGADOR RESPONSABLE:

FERNANDO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

IMPORTE TOTAL CONCEDIDO:

20.000 €

MIEMBROS DEL EQUIPO DE TRABAJO:

Rafael Valiente Barroso, Profesor Titular Universidad de Cantabria– Instituto de Investigación Valdecilla (UC-IDIVAL).

Jesús Antonio González Gómez, Profesor Contratado Investigación (UC-IDIVAL)

Javier Ruiz Fuertes, Profesor Contratado Doctor, UC

Jose Antonio Barreda Argüeso, Técnico de laboratorio (PDI), UC

Virginia Monteseuro Padrón, Investigadora Beatriz Galindo, UC

Camino Martín Sánchez, Investigadora Margarita Salas, UC.

Marina T. Candela de Aroca, Investigadora Contratada FPU (UC)

El/Los receptores/es del conocimiento a transferir con quienes se ha colaborado en el presente proyecto son miembros del Museo de Prehistoria y Arqueología de Cantabria (MUPAC), El Soplao, Instituto de Internacional de Investigaciones Prehistóricas (IIIP), así como otras colaboraciones internacionales puntuales, en el que se ha solicitado el uso de la plataforma tecnológica.

Colaboradores habituales del proyecto:

Dr. Roberto Ontañón Peredo, Director del MUPAC, Cantabria

Prof. Pablo Arias Cabal, Proyecto de Rotalde, Catedrático, IIIP-UC

Fermín Unzúe Pérez, Director Gerente, Empresa pública El Soplao, Cantabria.

B. RESULTADOS CONSEGUIDOS

La técnica Raman constituye una sonda espectroscópica transversal, poco invasiva, no destructiva, con capacidad de microanálisis mediante un haz de luz láser, que viene utilizándose ampliamente en la caracterización de la materia, a través de los cambios de frecuencia de la luz inducidos por las vibraciones atómicas. Su potencial es enorme ya que permite sondear la materia directamente, sin manipulación previa de la muestra, en tiempos que pueden variar desde unos segundos a varios minutos a través del espectro Raman, que es único para cada material. La espectroscopia Raman es una herramienta de caracterización casi ideal, porque al ser una técnica no invasiva, fácil de implementar incluso en entornos ambientales hostiles, las muestras se pueden analizar sin preparación especial y proporciona una rápida “huella química” altamente específica de materiales orgánicos e inorgánicos, en forma gaseosa, líquida o sólida, incluyendo materiales amorfos o de dominio cristalino menor de 4 nm, que no se pueden caracterizar por técnicas convencionales de difracción de rayos X.

En las últimas décadas, los equipos Raman se han desarrollado rápidamente, y hoy en día los usuarios finales tienen una amplia variedad de instrumentos Raman disponibles comercialmente a un coste razonable, desde equipos sofisticados de alta resolución hasta dispositivos portátiles muy asequibles. Estas son las principales razones del rápido crecimiento del uso de Raman no solo en la investigación, sino también en la industria, principalmente para el control de calidad, en biomedicina, en la industria farmacéutica, en prehistoria y medio ambiente. Por lo tanto, fomentar e implementar un entorno abierto de innovación a través de técnicas de caracterización basadas en la espectroscopía Raman es de suma importancia, permitiendo disponer de una tecnología que proporciona valor añadido a nuestro patrimonio, por cuanto todas piezas de interés patrimonial pueden realizarse un análisis estructural de su composición sin necesidad de alterar la pieza objeto de estudio. Este aspecto, ampliamente desarrollado ya en los mas prestigiosos museos de ciencia y de historia natural de Europa, EEUU, China y Japón, enriquece el conocimiento, control y salvaguarda del patrimonio, mediante la incorporación, bien a través de laboratorios de los propios museos o en colaboración con laboratorios especialistas, de este tipo de técnicas.

Con esta idea el proyecto ha acometido un estudio sistemático de materiales de interés prehistórico, mediante la creación de una plataforma tecnológica basada en la espectroscopia Raman, con laboratorios propios ubicados en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria (UC), desde los que poder ofrecer un servicio de cateterización de restos prehistóricos a los investigadores de Cantabria que gestionan y utilizan habitualmente útiles en los distintos los distintos enclaves del rico patrimonio prehistórico de Cantabria. Además, el proyecto ha desarrollado una unidad tecnológica portátil para realizar medidas in situ sobre piezas o espeleotemas que no pueden desplazarse a los laboratorios UC.

En este contexto, la aplicación de la espectroscopia Raman, especialmente Microscopía Raman, al análisis del arte prehistórico ha proporcionado información novedosa en varias áreas que no habían sido accesibles hasta ahora:

1. Se ha observado una heterogeneidad importante en las muestras de arte prehistórico a través de técnicas Raman y se ha estudiado la implicación que los procesos geoquímicos en los substratos rocosos pueden tener en dicha heterogeneidad [1].
2. Se han observado cambios significativos en la composición entre muestras tomadas en el mismo sitio, que se atribuyen no solo a los pigmentos utilizados, sino a las interacciones con el medio ambiente y a la geología predominante [1,2].
3. La espectroscopia Raman ha demostrado la presencia de materiales orgánicos e inorgánicos en muestras de arte prehistórico y ámbar. La presencia de restos orgánicos en especímenes de arte prehistórico, si bien es importante para los procedimientos de datación arqueométrica, también tiene relevancia para los estudios de tecnologías antiguas y en paleoclimatología.

Los **RESULTADOS** conseguidos en el proyecto, desarrollado por el Grupo de Altas Presiones y Espectroscopia de la UC, se pueden resumir en cuatro apartados:

1) PLATAFORMA. Desarrollo de una plataforma tecnológica basada en la espectroscopia Raman, que incorpora el laboratorio nacional Raman de altas prestaciones, gestionado por el grupo de investigación, mas una unidad de portátil con capacidad para operar in situ en cuevas o en lugares donde se custodian restos que no pueden desplazarse al laboratorio.

Para ello con el presupuesto del proyecto hemos adquirido una unidad portátil Raman con excitación láser en 532 nm, y que complementa el equipo ya disponible con excitación en 785 nm. El equipo es un espectrómetro BWTEK con resolución espectral de 6 cm^{-1} en un amplio rango espectral Raman ($200\text{-}3400 \text{ cm}^{-1}$), con un cabezal BAC102-532E, que incorpora Sonda Raman de 1.5 metros de longitud con corte desde 65 cm^{-1} y pulsador de trigger. $105 \mu\text{m}$ de diámetro de núcleo y 0.22NA para 532 nanómetros de excitación terminada en FC-PD, y $200 \mu\text{m}$ de diámetro de núcleo y 0.22NA para emisión con terminación SMA905 que incorpora un filtro de paso de banda de 532 nm (LP495 - Filtro Paso Alto). El láser MGL-DS-532.1% -Láser 532 nm salida de potencia ajustable entre 0 y 100mW, de 0.1nm de ancho de banda, para fibra MM de $100 \mu\text{m}$ y 1% de estabilidad. El espectrómetro es de la marca BWTEK modelo BTC112E con detector CCD de diodos lineal de 2048 elementos enfriados Termo-Eléctricamente con 16 bits de resolución. Incluye conexión SMA 905 para entrada de fibra óptica, rango y resolución a determinar en la selección de rendija y red de difracción. USB 2.0, cable USB, alimentación a 5VDC y filtro adecuado. Incluye también el programa BWSPEC para control y análisis de datos.

El cabezal está acoplado al microscopio BWTEK dotado de una cámara de alta sensibilidad y resolución, proporcionando imágenes y puntos de focalización para inspeccionar áreas de $10 \mu\text{m}$, e incluso inferiores. El microespectrómetro se controla mediante un ordenador portátil que sirve de también para análisis de datos in situ. Una descripción detallada del montaje con los elementos utilizados se ofrece en la figura 1.

La excitación verde de 532 nm además de proporcionar mayores intensidades de los picos Raman, tiene la ventaja (y desventaja) de poder inducir luminiscencia en el material o pigmento, lo que proporciona una medida complementaria a la espectroscopia Raman. La desventaja radica en que cuando esto sucede, la señal Raman se ve enmascarada, no pudiéndose detectar en algunos casos. En estos casos, el disponer de la línea de excitación infrarroja en 785 nm palia esta limitación. Este tipo de láser, además de reducir o eliminar los efectos de daño por radiación en muestras fotosensibles, evita la aparición de fenómenos luminiscentes.

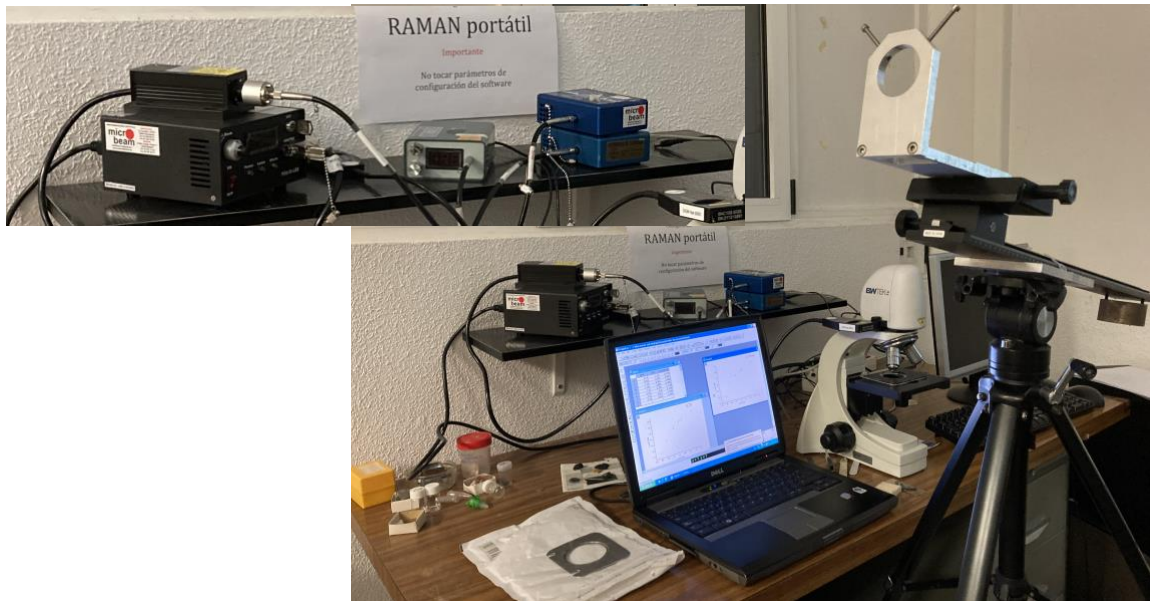


Figura 1. Esquema del instrumental utilizado en la plataforma tecnológica Raman portátil. La ampliación muestra en primer término el láser de 532 nm, y a la derecha el espectrómetro y el cabezal unido al microscopio. En primer término se observa el ordenador portátil de análisis y control, el microscopio y el trípode adaptado para medidas de campo.

La figura 2 muestra una imagen del instrumental portátil montado en el interior de la cueva de La Pasiega, en la que se han realizado tres misiones durante este proyecto.



Figura 2. Uso de la plataforma tecnológica Raman portátil para análisis de la espeleotema y pigmentos de pinturas de La Cueva de La Pasiega (Puente Viesgo). Obsérvese que la sonda Raman está a una distancia de 3 cm de la muestra: análisis *in situ* no destructivo y sin contacto.

2) MUPAC. Colaboración con el MUPAC en la caracterización de restos óseos y otros útiles prehistóricos del museo a través del proyecto liderado por el profesor Oscar Moro

Abadía de la Memorial University of Newfoundland (Canadá). En este proyecto se ha procedido a la caracterización y microfotografiado de pigmentos de muestras seleccionadas por el equipo canadiense y el director del MUPAC, de los fondos del museo, provenientes de la cueva del Castillo de Puente Viesgo. En particular, las muestras seleccionadas por la investigadora Amy Chase, durante su estancia en el MUPAC y en la Universidad de Cantabria, se realizaron muestreos Raman en más de 25 muestras de la colección del MUPAC además 5 mapeos 2D Raman en muestras seleccionadas para observar inhomogeneidades, dentro del pigmento. Los resultados tanto de los espectros Raman como del análisis morfológico a partir de las microfotografías están siendo analizados en la Universidad de Newfoundland, en colaboración con el director del MUPAC, Roberto Ontañón, con nuestra asesoría, estando a la espera de las primeras reuniones de coordinación para la escritura del documento científico que contenga todos los resultados Raman obtenidos con la interpretación paleontológica. Se prevé que a lo largo de 2023 se puedan desarrollar las primeras reuniones una vez finalizados los análisis.

3) IIPC. Caracterización de restos en colaboración con el Instituto de Investigaciones Prehistóricas de la UC. Esta colaboración ha consistido en la caracterización de diferentes restos de yacimientos prehistóricos contemplados en el proyecto "Una nueva frontera para la Prehistoria: El Paleolítico sumergido de la plataforma continental cantábrica" (PaleoSUB) (HAR2017-91332-EXP), coordinado por el profesor Pablo Arias del IIPC. Las figuras 3 y 4 muestran dos de los numerosos ejemplos de restos prehistóricos analizados por la plataforma tecnológica, puesta a punto en este proyecto.

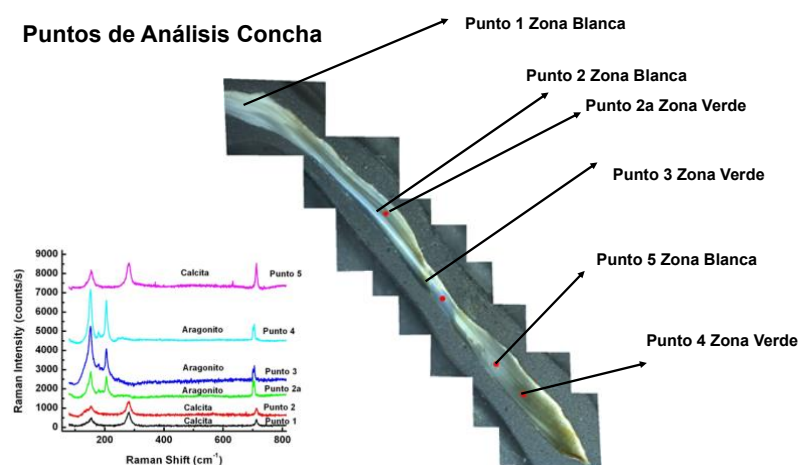


Figura 3. Análisis Raman de distintos puntos del canto de un resto de concha del IIPC, con la identificación y distribución de fases de CaCO_3 a lo largo del canto.

Fruto de esta colaboración está en proceso de publicación un número especial, titulado **Colorantes**, en el que los investigadores del proyecto contribuimos con un capítulo titulado “Caracterización por Espectroscopia Raman y Difracción de Rayos X” (*Documento Libro 1*), que se adjunta como Anexo 1 en el documento ANEXOS.

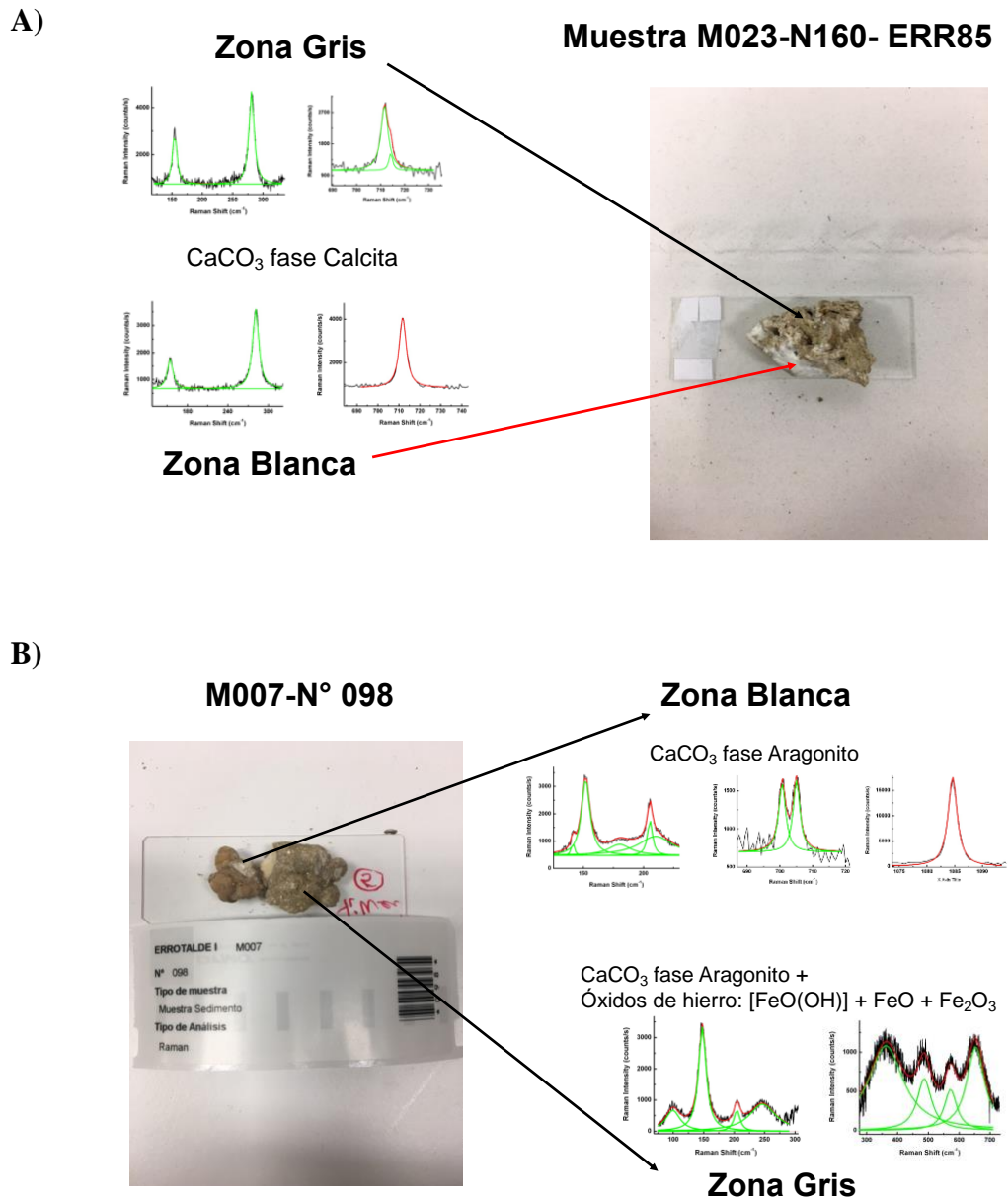


Figura 4. Imágenes de dos restos del esqueleto del hombre de Loizu (Cueva Etortalde, Loizu, Navarra) del proyecto PaleoSuB del IIPC y espectros Raman de puntos diferentes y su correspondiente análisis A) resto de referencia M023-N160-ERR85 de la zona de los pies , y B) resto de referencia M007-N098 de la zona inferior del torax.

4) El Soplao. Se han iniciado contactos con responsables de la empresa pública El Soplao, a través de Fermín Unzúe, para incorporar esta plataforma de caracterización de materiales en el proyecto interuniversitario gestionado por dicha empresa, para el estudio de los minerales de ámbar encontrados en la región en torno a El Soplao (Rábago). En concreto, esta colaboración se llevaría a cabo en el marco de la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN PALEONTOLÓGICA DEL ÁMBAR DE RÁBAGO-EL SOPLAO PARA UN MAYOR CONOCIMIENTO DE ESTE DEPÓSITO GEOLÓGICO DE IMPORTANCIA MUNDIAL CENTRADO EN LA IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE NUEVAS ESPECIES DE IMPORTANCIA PALEOECOLÓGICA Y RECONSTRUCCIÓN DEL MEDIO BOSCOZO, entre la UC y la Empresa pública, EL SOPLAO, S.L. Gobierno de Cantabria. Consejería: Industria, Turismo, Innovación, Transporte y Comercio. Ello supondría incorporar a la UC a dicho proyecto de investigación, aportando nuestra capacidad de caracterizar la composición del mineral a través de la espectroscopia Raman. Los objetivos que se pretenden con este convenio de colaboración El objetivo principal es obtener un conocimiento más completo de ciertos grupos de insectos perfectamente conservados en el ámbar de Rábago-El Soplao y aspectos de interés sobre la ecología de los antiguos bosques resiníferos (Cretácico, Albiense, unos 105 millones de años) de forma que de este ámbar se adquiriera un mayor conocimiento de acuerdo con su elevada importancia internacional.

Los objetivos secundarios son:

1. Realizar nuevos descubrimientos de gran importancia científica.
2. Describir las nuevas especies, y otros niveles taxonómicos, que impliquen los nuevos descubrimientos. Este objetivo secundario se centrará especialmente en los insectos de los grupos neurópteros, himenópteros, coleópteros, mecópteros, psocópteros y lepidópteros de acuerdo con lo que se observe en la colección existente y en las nuevas preparaciones que haga el personal especializado del Laboratorio de la Cueva de El Soplao.
3. Determinar los aspectos paleoecológicos nuevos que se desprendan de su registro fósil para una mejor comprensión del paleoambiente del bosque resinífero.
4. Establecer nuevos elementos gráficos que no solo puedan ser usados en las publicaciones internacionales y congresos científicos, sino también para la divulgación de este ámbar y para exposiciones futuras.

5. Divulgación este patrimonio paleontológico cántabro para su mejor conocimiento tanto entre el público nacional como extranjero.

Actualmente se está en fase de implementar oficialmente esta colaboración mediante convenio complementario entre la UC y dicha Consejería.

5) La Pasiega. Finalmente, las actuaciones mas importantes de la plataforma tecnológica en el marco del presente proyecto, se han llevado a cabo en la cueva de La Pasiega (Puente Viesgo), en colaboración con el MUPAC, a través de Roberto Ontañón y los investigadores Marc Groenen y Marie-Christine Groenen, de la Université libre de Bruxelles, CReA-Patrimoine (Centre de recherche en archéologie et patrimoine), Bélgica.

Hemos desarrollado una intensa actividad de caracterización de las espeleotemas de CaCO_3 , principal componente de su composición química, al objeto de determinar las variedades morfológicas dentro de la cueva en torno a las pinturas de La Cierva (Figura 5)



Figura 5. Fotografía de La Cierva sobre la espeleotema de la cueva de La Pasiega, con indicación de los puntos datos por Hoffman y col. (*Science* **2018** 359, 912-915). A la derecha se muestra el equipo Raman tomando medidas dentro de la cueva en puntos datadso por Hoffman y col..

En concreto, se han realizado tres campañas con un doble objetivo. Por un lado, analizar minuciosamente la composición polimórfica del CaCO_3 en sus variedades calcita – aragonito en puntos concretos donde se relazaron dataciones mediante la técnica de datación uranio torio (U-Th) por el profesor Hoffmann y col. (Hoffmann, D.L., Standish, C., García-Diez, M., Pettitt, P.B., Milton, J.A., Zilhão, J., Alcolea, J., Cantalejo-Duarte, P., Collado, H., de Balbín, R., Lorblanchet, M., Ramos-Muñoz, J., Weniger, G.C., Pike, A.W.G., 2018. U-Th dating of carbonate crusts reveals Neanderthal origin of Iberian cave art. *Science* 359, 912-915).

La campaña de medidas y el análisis de las mismas dio como resultado una conclusión disruptiva, poniendo en duda la validez de las dataciones realizadas por Hoffmnan, quien sostiene que hay restos en las pinturas que varían desde los 3.000 a 60.000 años, esta última datación suponiendo un cambio de paradigma en cuanto a las facultades que se presuponían de los Neandertales. El artículo científico (*documento Art 2*), que se incluye como Anexo 2 en el documento ANEXOS, se cuestiona científicamente la metodología de datación utilizada en la cueva de La Pasiega. Dicho artículo titulado: RAMAN SPECTROSCOPY ANALYSIS OF CARBONATE CRUSTS ASSOCIATED WITH PARIETAL ART IN LA PASIEGA CAVE (PUENTE VIESGO, CANTABRIA, SPAIN). “NEANDERTAL ART” IN NORTHERN SPAIN?, fue enviado para su publicación a la prestigiosa revista *Quaternary Science Reviews*, y actualmente se encuentra en revisión para completar una serie de datos estructurales relacionados con la espeleotema, solicitado por los expertos internacionales que revisaron el documento.

Tales trabajos se están llevando a cabo con la participación del estudiante de doble grado en Física y Matemáticas de la UC, Fernando Frías García-Lago, que realizó su trabajo fin de grado (TFG) en este tema, con el fin de caracterizar distintos fragmentos de la espeleotema de la cueva de La Pasiega. Los resultados y conclusiones de este trabajo, que ha servido además para formar un experto en la utilización de técnicas físicas al estudio de restos de interés prehistórico, se recopilan en su TFG, cuya copia del mismo se incluye en el documento ANEXOS como Anexo 3 (*documento TFG1*). Además de los resultados propios de obtenidos en la cueva, utilizó la técnica Raman para explorar como varían las calcitas de la cueva en función de la temperatura y de la presión (altas presiones geológicas), que han ayudado a comprender las condiciones de presión y temperatura en las que son mas favorables la formación de la fase calcita o aragonito, las dos fases polimórficas detectadas en la cueva. En sus estudios se observa, como bien por efecto de la

presión o la temperatura, es posible inducir transformaciones calcita aragonito a alta presión y alta temperatura.

6) Atapuerca. Finalmente, nos gustaría indicar que la plataforma tecnológica Raman desarrollada en este proyecto ha atraído a estudiantes del grado de física de la UC interesados en paleontología. En este sentido, hemos introducido y formado a la estudiante, Irene Romo Díez, en la utilización de la técnica Raman, aplicada al estudio de materiales procedentes del yacimiento de Atapuerca (Burgos). Este trabajo fue objeto de su TFG, titulado **CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDOS DE HIERRO EN SEDIMENTOS ARQUEO-PALEONTOLÓGICOS POR ESPECTROSCOPIA RAMAN**. El trabajo se realizó en colaboración con el geólogo del yacimiento de Atapuerca, Josep María Pares Casanova, Coordinador de Programa de Investigación: Geocronología y Geología, del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH) de Burgos. En el estudio se han analizado cuatro muestras de sedimento disgregado procedentes de la misma columna estratigráfica del yacimiento de Gran Dolina, parte de los Yacimientos Arqueológicos de la Sierra de Atapuerca. Las muestras se han sometido a difracción de rayos X y espectrometría Raman para obtener su composición y variabilidad entre estratos. Se ha prestado especial atención a la presencia y variación de óxidos de hierro. Los resultados indican la presencia de calcita, cuarzo, hematita, magnetita, diversas arcillas de la familia de las kaolinitas, moscovita, illita e hidroxiapatita. Se ha constatado la utilidad de la técnica Raman empleada para estudiar detalladamente muestras procedentes de yacimientos arqueológicos tal y como se demuestra en el TFG de Irene Romo, el cual se adjunta como Anexo 4 en el documento ANEXOS (*documento TFG2*).

Con estos trabajos se pone claramente de manifiesto la versatilidad y utilidad de la técnica de espectroscopia Raman en temas de interés paleontológico, y con ello la puesta en marcha de la plataforma tecnológica en el marco del presente proyecto.

C. OBJETIVOS ALCANZADOS

El proyecto de la convocatoria SODERCAN de I+D 2021, financiado por el Gobierno de Cantabria se había planteado como objetivos 1) el desarrollo una plataforma tecnológica multiuso de micro-espectroscopía Raman, para responder a necesidades de caracterización

y catalogación de pinturas, restos óseos y útiles prehistóricos, al objeto de facilitar y colaborar con investigadores especialistas de Cantabria en las investigaciones y consolidación del rico patrimonio prehistórico de la región. 2) Dicha plataforma debería proporcionar una metodología de análisis in-situ, en contraposición a los métodos de caracterización mediante técnicas destructivas, al objeto de preservar el patrimonio, estudio de los materiales. 3) Profundizar en el estudio de carbonatos, componente esencial de las espeleotemas de nuestra región, sobre los que se proyecta mediante pinturas el arte prehistórico, y cuya caracterización es fundamental para explicar las dataciones basadas en U/Th. 4) Contribuir a la creación de una base de datos de minerales relacionados con el arte prehistórico en la comunidad de Cantabria.

Resultados

A la vista de los resultados expuestos en el capítulo anterior del presente informe, todos los objetivos planteados han sido acometidos, con una excelente disposición de los distintos organismos de la comunidad de Cantabria, involucrados en las investigaciones prehistóricas y la preservación de su patrimonio, como el MUPAC, el IIPC, El Soplo, además de colaboraciones externas a Cantabria como el CENIEH de Atapuerca en Burgos. Las contribuciones concretas se recogen en los cuatro anexos. Es preciso destacar que el proyecto no ha concluido aún con investigaciones iniciadas en el marco del proyecto y que aun se encuentran en fase de desarrollo.

Un aspecto relevante del proyecto, es el hecho de que estas colaboraciones han buscado dotar a la comunidad de Cantabria de una plataforma tecnológica multiuso para el estudio de muestras prehistóricas por medio de la micro-espectroscopia Raman portátil. La oportunidad de la propuesta ha resultado muy exitosa a tal y como lo demuestra el interés suscitado por todos los trabajos colaborativos, en los que el uso de la técnica Raman, se ha implementado en nuestra comunidad en el campo del Arte rupestre y, en general, del patrimonio artístico de la región.

Formación de expertos

En el transcurso del proyecto se han involucrado dos estudiantes de fin de grado: **Fernando Frías García-Lago**, del doble grado de Física y matemáticas, e **Irene Romo Díez**, del grado de Física, cuyos trabajos respectivos de fin de grado han supuesto un

avance importante en la realización de los objetivos del proyecto, con una motivación y entrega por la paleontología y por como aplicar técnicas físicas como la espectroscopia Raman, a este campo, que fue mas allá del mero interés exigible a los alumnos que finalizan sus estudios de graduación. Como resultado de este trabajo, hemos formado dos expertos en el uso de la espectroscopia Raman a estudios prehistóricos, campo en el que apenas se encuentran expertos en España.

Transferencia de conocimiento.

La puesta a punto de la plataforma tecnológica multiuso y la adquisición de conocimiento científico-técnico necesario para el montaje de un sistema Raman portátil de medidas *in situ* en entornos reales de muestra, se ha logrado conformar un equipo experto en la transferencia de conocimiento a través de la técnica de micro Raman, que incluso va mas allá del campo de la paleontología, sino que la técnica y la metodología de análisis puede aplicarse a otros entornos artísticos, relacionados con los pigmentos y conservación de materiales, y de la industria, para control de calidad y procesos.

El servicio de Espectroscopia para la caracterización de materiales ofrecido por el Grupo de Altas Presiones y Espectroscopia de la UC es un ejemplo de esta actividad transversal en la transferencia de conocimiento a la sociedad.

D. DIFUSIÓN DE RESULTADOS DEL PROYECTO

El grupo de Altas Presiones y Espectroscopia mantiene una labor constante de difusión de resultados que publicita a través de su página web (<https://grupos.unican.es/apye/>). Esta labor en el caso de los resultados del proyecto, se realiza en colaboración con las entidades colaboradoras, que mantienen un programa permanente de difusión del patrimonio de Cantabria.

E. CONCLUSIONES FINALES

1) La plataforma tecnológica multiuso desarrollada en base a la micro-espectrometría Raman es una herramienta muy útil para la caracterización *in situ*, no destructiva, de pinturas, restos óseos y útiles prehistóricos.

2) La adaptación de la técnica mediante una unidad portátil nos ha permitido realizar los ensayos en el interior de cuevas, o en los propios museos o institutos donde están expuestas o almacenadas las muestras.

3) El proyecto ha dado apoyo a diferentes entidades relacionadas con la protección y la investigación del patrimonio prehistórico (MUPAC, IIPC, SOPLAO) y de grupos de investigación de la UC. El Grupo de Altas Presiones y Espectroscopia, responsable del proyecto, ha colaborado también con otras universidades y centros tecnológicos nacionales, como por ejemplo la Universidad de Burgos, la Universidad del País Vasco o la Fundación Centro Tecnológico de Componentes.

4) La caracterización de diferentes elementos arqueológicos (espeleotemas en la cueva de La Pasiega, restos óseos de la cueva de Rotalde, etc.), van a tener previsiblemente un retorno importante: 1) disponer de una técnica de caracterización rápida (segundos-minutos), eficiente (sin necesidad de preparación o manipulación previa) y no destructiva, con posibilidad de realizar análisis *in-situ*, en una región con gran patrimonio arqueológico y una escasa caracterización sistemática de dicho patrimonio; 2) el MUPAC sea una institución pionera en el uso de esta técnica novedosa de diagnóstico con fines paleontológicos, dotando al mismo de un soporte científico de alto nivel; 3) el descubrimiento de fases polimórficas o materiales inesperados en sistemas con gran impacto prehistórico, que se reflejarían en publicaciones científicas de alto impacto por personal de instituciones cántabras; y 4) los equipos se pueden replicar a precios relativamente reducidos pudiéndose establecer un protocolo para la incorporación de esta técnica Raman y la formación de personal joven especializado en lugares o centros de interés.

5) El equipamiento solicitado para el desarrollo de la plataforma multiuso basada en la técnica Raman es respetuoso con el medio ambiente, ya que los análisis no requieren la utilización de reactivos o elementos que sean dañinos para el medio ambiente.

6) El estudio de carbonatos en la cueva de La Pasiega ha suscitado la duda sobre las dataciones realizadas con la técnica U/Th debido a las características geoquímicas de la cueva como un sistema abierto. Este hecho puede cambiar el paradigma sobre la atribución a los Neandertales de desarrollar arte a través de la pintura.

7) El carácter multidisciplinar del equipamiento y el gran número de usuarios tanto internos como externos a la UC, hace de la plataforma tecnológica desarrollada, la única de estas características disponible en la Universidad de Cantabria y la región, con prestaciones punteras a nivel internacional. Este aspecto tiene un impacto muy positivo proporcionando un valor añadido a las piezas del patrimonio prehistórico de Cantabria estudiadas en el proyecto.

8) Un aspecto colateral de interés es el relacionado con el uso de la plataforma tecnológica en ámbitos industriales donde se requieran una caracterización y control *in-situ* de materiales o del sistema de producción, que puedan ser sondeados a través de la técnica Raman.