



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2023/2024

Nº de proyecto: 72

La Colección de Mineralogía de la Facultad de Geológicas, una herramienta esencial
para la adquisición y divulgación del conocimiento

Responsable del Proyecto: Francisco Javier Luque del Villar

Facultad de Ciencias Geológicas

Departamento de Mineralogía y Petrología

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo prioritario del proyecto es difundir el conocimiento científico y aportar materiales didácticos de calidad en el campo de la Mineralogía. Se pretende fomentar una mayor cultura científica en el conjunto de la sociedad, no sólo en nuestros estudiantes o en la comunidad universitaria. Se busca ofrecer un servicio público de educación a todos los grupos sociales, garantizando el principio de igualdad que debe regir tal servicio.

El porqué de este objetivo se justifica en que se considera esencial trasladar a la ciudadanía un hecho crucial: la enorme dependencia que tiene nuestra sociedad de los recursos minerales. Las consecuencias que esto conlleva no son, en absoluto, ajenas a nuestras vidas.

Pese a sus implicaciones, esta realidad no es un hecho habitualmente conocido o tenido en cuenta. Incluso suele ignorarse que todos los objetos que nos rodean, y no tienen un origen biológico, se han elaborado a partir de materiales extraídos de la Tierra. Así ha sido desde nuestros orígenes como especie. La importancia de las industrias lítica, cerámica y metalúrgica son buena prueba de ello.

Los metales que hacen funcionar nuestra sociedad se extraen de determinados minerales. Algunos de estos metales son muy escasos en la corteza terrestre. Los problemas derivados de la lucha por el control de estos recursos son cada vez más acuciantes e involucran al mayor número de retos éticos, medioambientales, económicos, sociales y culturales, a los que la humanidad se ha enfrentado nunca. Es preciso que la ciudadanía se forme una opinión responsable sobre estos asuntos porque influyen drásticamente en su calidad de vida, en sus perspectivas de futuro, y en la cantidad o intensidad de los conflictos sociales. Son, por tanto, de su absoluta incumbencia.

Un segundo objetivo es la transformación de un lugar de paso (pasillo central de la sexta planta de la Facultad de Geológicas) en un espacio educativo que contemple las más elementales pautas de la Museología. En él se pretende llevar a cabo una exposición permanente en la que se narre la historia de cómo se llegó a descubrir la verdadera naturaleza de los minerales, el porqué de sus propiedades y, muy especialmente, cuál es la causa de que hayan merecido tanto interés desde el origen de la Humanidad.

Nuestros estudiantes transitan a diario por dicho espacio, de manera que, casi inevitablemente, recibirán una información rigurosamente seleccionada que les ayudará a asentar y complementar los conocimientos adquiridos en las aulas. Y, no menos importante, tendrán sobre ellos una perspectiva histórica que a menudo les falta. Esta cuestión, además de una carencia cultural, les impide apreciar cómo se ha ido acumulando el conocimiento que ha dado lugar a los grandes descubrimientos y los cambios de paradigma en la Mineralogía y la Cristalografía. Este proyecto también tiene como objetivo incitar a nuestros estudiantes a que desarrollen una visión de conjunto, un análisis más integral de la realidad de lo que les ofrece un mundo cada vez más especializado.

Para ello, se realizará diverso material audiovisual y multimedia (carteles, vídeos, etc.) que presentará una información complementaria sobre los minerales expuestos. De la mano de Internet y de la generalización de los dispositivos móviles, la información que se demanda ha cambiado. Muchos de los datos relativos a la composición química, estructura o clasificación mineral son rápidamente accesibles navegando en la Red con nuestros dispositivos. En general, frente a la información como texto escrito en soporte papel, el público más joven prefiere las versiones interactivas, en las que además del texto, puede acceder instantáneamente a información adicional. En cualquier caso, lo realmente importante es la información que cualquiera de esos formatos presente. En este sentido, los museos y las instituciones científicas y docentes, en general, tienen -en este marco- un reto y una oportunidad: difundir conocimiento científico y aportar materiales de calidad para el fomento de una mayor cultura científica en el conjunto de la sociedad.

Otro de los objetivos es dar a conocer la Colección de Mineralogía de la Facultad de Geológicas. Iniciada a finales del siglo XVIII, aúna el interés docente con el científico y el histórico.

Una de las formas de lograrlo es a través de la exposición permanente de ejemplares que, por su especial vistosidad, tamaño o delicadeza, no son apropiados para una manipulación continua por parte del alumnado. Sin embargo, presentan algunas o incluso muchas de las propiedades diagnósticas que permiten identificar y catalogar las distintas clases, especies y variedades minerales. Su manifiesto valor docente justifica que dicha exhibición no sea temporal y se acometa también bajo rigurosos criterios museográficos.

Por otra parte, las notas manuscritas que se han hallado durante las distintas fases de la conservación preventiva de la Colección presentan huellas de los grandes debates científicos y de algunos de los personajes que, desde el siglo XVIII hasta el XX, desentrañaron la causa última de las propiedades de los minerales o el origen de las distintas rocas, debatieron sobre la edad de la Tierra o cuestionaron el creacionismo bíblico y, nada menos, el origen divino del hombre.

Se pretende que el proyecto expositivo que se desarrolle sirva a su vez para sensibilizar a la comunidad complutense del valor añadido que tiene el material de la Colección. De esta manera, se aspira a conseguir la atención que merece y la posibilidad de conservarlo y divulgarlo. Teniendo en cuenta que las aplicaciones que leen códigos QR se han popularizado, se ha planificado la utilización de esta herramienta tan versátil para proporcionar información adicional, tanto sobre los minerales expuestos, como de los acontecimientos, lugares y personajes que tienen relevancia en la historia que se pretende contar.

Como último objetivo se plantea la elaboración de una Guía de Minerales en formato digital. Esta herramienta llenaría un vacío importante que, dado el peso y la historia de nuestra universidad, es también una notable anomalía: la inexistencia de una guía visual de identificación de minerales de la UCM.

2. Objetivos alcanzados

- Se han seleccionado los minerales que formarán parte de la exposición.
- Se han fotografiado la mayor parte de dichos minerales. De cada ejemplar se han obtenido diferentes perspectivas para mostrar sus características de la forma en la que resulten más evidentes.
- Se han realizado los diseños de los vinilos de las vitrinas. Para cada una de ellas, en la parte trasera consta un texto muy breve que resume el significado de lo que se expone. Los vinilos de la base de las baldas de cada vitrina se han diseñado poniendo especial énfasis en una visión estética y moderna que realce cada ejemplar expuesto.
- Se han llevado a cabo los textos de los paneles que acompañarán a cada vitrina. Estos paneles están dirigidos a todo tipo de público, usando un lenguaje riguroso que evita en lo posible los tecnicismos, y se complementan con imágenes que ayudan a poner en contexto cada evento descrito en los paneles.
- Se han realizado los códigos QR para el público general (nivel divulgativo). En estos códigos, que quedarán albergados en la página web del proyecto, se desarrollan, de una manera breve, algunos de los conceptos mencionados en los paneles explicativos de cada vitrina.
- Los códigos QR para el público especializado se encuentran en fase de realización, así como las traducciones al inglés.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología para la realización de este proyecto se ha ajustado a la propuesta en el documento de su solicitud. Se han llevado a cabo las siguientes actuaciones:

Durante el curso 2022-23 se efectuó la limpieza, reparación y acondicionamiento de las quince vitrinas ubicadas en el pasillo central de la sexta planta de la Facultad de Geológicas. Estos muebles se restauraron gracias a una metodología de aprendizaje-servicio. Fue realizado por un grupo de estudiantes del Grado de Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural de la Facultad de Bellas Artes, liderado por uno de sus docentes, José Carlos Espinel Velasco. Este trabajo colaborativo previo ha permitido disponer de un espacio expositivo adecuado en el que mostrar una selección de la Colección de Mineralogía de la Facultad de Ciencias Geológicas.

En estas vitrinas se exhibirán los minerales que, además de estar previa y convenientemente seleccionados, se dispondrán siguiendo un criterio histórico para reflejar cómo se han utilizado los minerales desde la Prehistoria y cómo se han ido alcanzando los conocimientos que hoy día tenemos sobre ellos.

Para conseguir esta finalidad, se ha realizado una selección minuciosa de los hitos históricos que han llevado al conocimiento actual sobre los minerales y, en definitiva, a la comprensión de la disposición interna ordenada de sus componentes químicos y de las propiedades que derivan de ello.

Por otra parte, se ha realizado una selección de los ejemplares que mejor ayuden a alcanzar los objetivos docentes, divulgativos y estéticos que se persiguen. Se han realizado fotografías de estos ejemplares y se han procesado las imágenes para su ubicación en la página web del Proyecto.

Así mismo, se han llevado a cabo los diseños de los vinilos que se situarán en la parte trasera de las vitrinas y en las baldas. Paralelamente, se han realizado los textos de los paneles que acompañarán a cada vitrina y se han seleccionado las imágenes que ilustrarán los contenidos reflejados en cada uno de ellos. De igual modo, se han realizado los códigos QR del nivel divulgativo, en los que se desarrollan algunos de los aspectos abordados en los paneles. Los códigos QR del nivel avanzado están en fase de redacción. Todos estos contenidos se encontrarán disponibles en breve en la página web del proyecto (<https://www.ucm.es/coleccion-mineralogia/>), actualmente en construcción.

4. Recursos humanos

El equipo que integra el proyecto ha estado formado por personal docente (Facultades de Ciencias Geológicas y de Bellas Artes), estudiantes del Grado en Geología y de Bellas Artes, un contratado predoctoral (Facultad de Ciencias Geológicas) y Personal de Administración y Servicios. Además, el Proyecto ha contado con la colaboración de una persona externa a la UCM especialista en exposiciones científicas de carácter divulgativo. En la mayor parte de los casos, los participantes tienen experiencia previa en proyectos de innovación docente. Los miembros del equipo han sido los siguientes:

Algaba Suárez, Milagros. Especialista en divulgación científica y coordinadora de contenidos de exposiciones del Museo de la Evolución Humana en Burgos.

Bermejo López, Daniel. Contratado Predoctoral, Facultad de Ciencias Geológicas.

Carmona Tijerín, Víctor. Estudiante 3^{er} curso, Grado en Geología.

Espinel Velasco, José Carlos. PDI, Facultad de Bellas Artes.

Esteban Ruiz, Paula. Estudiante 3^{er} curso, Grado en Geología.

Fernández Barrenechea, José María. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.

García Rivas, Javier. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.

García Romero, Emilia. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.

Garrido Sánchez, Azael. Estudiante 3^{er} curso, Grado en Geología.

Insúa Arévalo, Montserrat. PTGAS, Facultad de Ciencias Geológicas.

Luque del Villar, Francisco Javier. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.

Ortega Menor, Lorena. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.
Perera Garcés, Adrián. Estudiante 3^{er} curso, Grado en Geología.
Pérez Garrido, Carlos. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.
Pinto de la Casa, Guillermo. PTGAS, Facultad de Ciencias Geológicas.
Piña García, Rubén. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.
Prieto Navarrete, María Francisca. PTGAS, Facultad de Ciencias Geológicas.
Salazar Álvarez, Eduardo. Estudiante 3^{er} curso, Grado en Geología.
Soler Mateo, Raquel Magaly. Estudiante 4^o curso, Grado en Bellas Artes.
Soutullo García, Belén. PTGAS, Facultad de Ciencias Geológicas.
Viedma Molero, Cristóbal. PDI, Facultad de Ciencias Geológicas.

5. Desarrollo de las actividades

El principal objetivo propuesto era el de generar la exposición permanente de la Colección, elaborando diferente material audiovisual explicativo. Como ya se ha comentado, se dispone de una selección de los ejemplares, articulada con un sentido histórico que refleja desde el uso primitivo de los minerales a la evolución científica sobre su conocimiento.

Desde el comienzo del Proyecto se ha fomentado el contacto entre todos los participantes, para establecer su contribución a las diferentes tareas. De este modo, se ha realizado la selección de los hitos históricos que se reflejarán en la exposición, los textos las vitrinas y de los paneles, así como los contenidos de los códigos QR complementarios a los paneles. En el Anexo se incluyen algunos ejemplos de todo ello.

El desarrollo de la exposición ha contado con serias limitaciones por el escaso presupuesto concedido al Proyecto. Una primera limitación fue el hecho de que la Colección no contaba con algunos minerales indispensables para ilustrar los hechos históricos que se querían destacar. Por ello, se contactó con el Museo Geominero para conseguir, mediante préstamo, algunos ejemplares de esos minerales. El préstamo ha sido aceptado por las partes implicadas (Facultad de Ciencias Geológicas y Museo Geominero), encontrándose a falta de concretar los aspectos relativos al transporte de los ejemplares y al seguro que los cubra durante su exposición.

Una segunda limitación ha sido el coste de los materiales imprescindibles para la exposición: vinilos de las vitrinas y paneles explicativos. Esto llevó a tener que solicitar financiación externa para poder acometer una exposición institucionalmente digna. Por este motivo, la producción de los vinilos y paneles se ha visto demorada con respecto al cronograma inicial. Esto ha conducido a que la exposición todavía no se haya completado. Se ha conseguido financiación parcial a través de dos entidades que realizan convocatorias para favorecer la

difusión de contenidos relacionados con la Geología: la Sociedad Española de Mineralogía y el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

A partir de las imágenes de los minerales de la Colección se está elaborando una Guía Digital de Identificación. En una primera fase, esta Guía se ha traducido en fichas individualizadas para los minerales que forman parte de las prácticas de las diferentes asignaturas de Mineralogía impartidas por el Departamento (más de 200 ejemplares). Se trabaja en el desarrollo de esta Guía para que esté disponible en la página web en el plazo más corto posible.

Con respecto a las actividades previstas en la solicitud del Proyecto, quedan pendientes:

- La distribución a los centros de enseñanza primaria y secundaria de la CAM de los contenidos elaborados para el nivel de divulgación.
- La distribución a las asociaciones culturales de adultos (Madrid capital y otros municipios de la CAM) de los contenidos elaborados para el nivel de divulgación.
- Incrementar la visibilidad de los contenidos y de la Colección a través de las redes sociales y las páginas web (tanto la específica del Proyecto como las institucionales del Departamento de Mineralogía y Petrología y de la Facultad de Ciencias Geológicas).

En particular, la distribución a los centros de enseñanza parece más adecuado hacerla a comienzo de curso cuando, además, previsiblemente, la exposición de la Colección esté concluida.

6. Anexos

En este apartado se incluyen ejemplos de los materiales que formarán parte de la exposición. Así, se presentan las imágenes de los vinilos que irán en la parte trasera de las vitrinas (balda superior e inferior), de los paneles que se situarán al lado de cada vitrina y que introducen los hitos más destacados de cada época histórica considerada y, finalmente, ejemplos de los códigos QR destinados al público general en los que se desarrollan algunos de los temas apuntados en los paneles.

UNA FRACTURA MUY ESPECIAL

LA INDUSTRIA LÍTICA SE BASÓ EN LAS PROPIEDADES DE CIERTOS MINERALES

Nuestros antepasados observaron que algunos minerales rompen según la dirección de la fuerza aplicada.

Esta propiedad – la fractura concoidea– permitió la obtención de los primeros filos cortantes, fundamentales para la subsistencia.



MINERALES Y SIMBOLISMO

Homo habilis comenzó a fabricar útiles de piedra buscando sólo su eficiencia como herramientas.

La consciencia humana otorgó a los minerales un nuevo uso: el artístico. Objetos simbólicos, sin utilidad práctica, que transmitían cierta información o unían al grupo social.

Paneles traseros (Vitrina 1)



ENCENDER FUEGO

EL PROGRESIVO CONTROL DEL FUEGO HA DETERMINADO LA EVOLUCIÓN DE LA HUMANIDAD.

La experiencia acumulada en la industria lítica puso de manifiesto la generación de chispas cuando entrecocaban dos cantos de sílex. Esas chispas no tenían capacidad para prender una hoguera. Sin embargo, sí se conseguía cuando uno de los cantos tenía una composición específica.

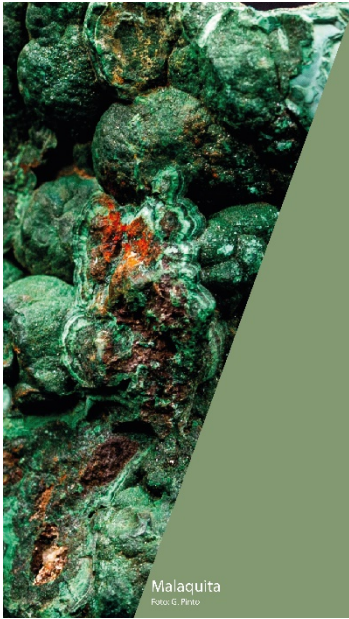
LOS PRIMEROS MATERIALES SINTÉTICOS

HACE UNOS 10 000 AÑOS EL FUEGO SIRVIÓ PARA PRODUCIR NUEVOS MATERIALES.

Durante el Paleolítico, la fabricación de herramientas no implicó cambios en la composición química o en la estructura interna de los minerales.

Hace sólo unos pocos milenios, las sociedades humanas aprendieron a modificar esas características mediante el calor. De esta forma, surgieron los primeros materiales cerámicos o los morteros de yeso y cal.

Paneles traseros (Vitrina 2)



Malaquita
Foto: G. Perito

EDAD DEL COBRE

POCOS METALES SE ENCUENTRAN EN ESTADO NATIVO EN LA CORTEZA TERRESTRE

La orfebrería prehistórica generó un progresivo conocimiento de las sorprendentes propiedades de los metales y un gran interés por su control.

Generalmente, los metales aparecen combinados con otros elementos formando minerales. La metalurgia surgió cuando descubrieron que el fuego era la vía para separarlos.

EDAD DEL BRONCE

LA MEZCLA DEL COBRE CON OTROS METALES MODIFICA SUS PROPIEDADES.

La fundición de minerales que contenían varios metales pudo originar las primeras aleaciones. Añadiendo estaño se obtuvo bronce, de mayor dureza, menor punto de fusión y mayor vida útil que el cobre.

Paneles traseros (Vitrina 3)

EMPIEZA LA PREHISTORIA

HACE 2.500.000 AÑOS

En un periodo muy reciente de la historia de nuestro planeta, unos primates comenzaron a depender de las piedras para su subsistencia. La utilización de herramientas es común en muchos animales. Sin embargo, la selección de determinadas rocas y minerales por unas propiedades muy concretas es exclusivamente humana.



Bisonte policromado (17.600 - 13.500 a.C.).
Cueva de Altamira, Cantabria. Foto: Museo de Altamira

Escogieron los que presentaban simultáneamente dos cualidades: elevada dureza y fractura concoidea. Esta fractura, en forma de ondas concéntricas, permite la obtención de lascas con mucho filo. El aprovechamiento de ambas propiedades físicas dio lugar a la primera industria humana: la industria lítica. El cuarzo (dióxido de silicio) y sus variedades, como el ágata, el jaspe o el sílex, las presentan. Además, son minerales muy abundantes en la corteza terrestre.

Aparte del beneficio práctico, nuestros antepasados experimentaron la inevitable fascinación que suscitan las formas, el color, la transparencia o el brillo de algunos minerales. Surgió un gran interés por estos especímenes, que se emplearon tanto en el adorno personal como en ceremonias rituales.

Por otra parte, los pigmentos minerales favorecieron la creación artística al permitir la transmisión de emociones a través del color en pinturas rupestres, y sobre los cuerpos de vivos y muertos.



"Excalibur", bifaz de cuarzo (~700.000 años).
Sima de los Huesos (Atapuerca), Burgos. Foto: Javier Trueba



Bisontes esculpidas en arcilla (~15.000 años).
Cueva Tuc d'Aud (Seine), Francia.

ARTES DEL FUEGO Y MINERALES

HACE 400.000 AÑOS

Nuestros antepasados subsistieron la mayor parte de la Prehistoria sin controlar el fuego. Lo lograron hace unos 400.000 años y supuso un cambio radical en nuestra evolución biológica y social.

Conocer el comportamiento de los minerales les permitió encenderlo a voluntad. Al golpear un mineral duro contra otro rico en hierro –como la pirita o la marcasita– producían chispas lo suficientemente calientes y duraderas como para prender el combustible. Los neandertales emplearon pirolusita (un óxido de manganeso) para optimizar el rendimiento de sus hogueras.



Jarro de boca trilobulada (s. VII a.C.). Museo Arqueológico Nacional, Madrid. Foto: Arantxa Boyero



Gran vaso de alabastro (finales siglo VIII a.C.). Museo Arqueológico Nacional, Madrid. Foto: Paul Fernández Ruiz

El control del fuego mejoró sustancialmente las condiciones de habitabilidad y supervivencia al permitir calentar, alumbrar, cocinar y protegerse de los depredadores. También se utilizó para trabajar el sílex y la madera, así como para modificar el color de algunos pigmentos.

Durante el Neolítico, la aplicación de calor a ciertos minerales dio lugar a la increíble transformación de un material moldeable y muy común –el barro– en otro impermeable y rígido, la cerámica.



Las cerámicas y morteros fueron innovaciones tecnológicas que implicaron cambios en la composición química y en la estructura interna de los minerales empleados. Se consideran los primeros materiales sintéticos de la Humanidad.



Cerámica tartésica (siglo XV a.C.- V a.C.). Museo Arqueológico Nacional, Madrid. Foto: Miguel Hermoso Cuesta

EL COBRE Y EL BRONCE

HACE 7.000 - 5.000 AÑOS

La orfebrería primitiva comprobó que el cobre, el oro y la plata, además de bellos, eran más funcionales que la piedra: no se rompían fácilmente, podían repararse o reutilizarse, y producían un filo más cortante y duradero.



Caballo de bronce de Canino Romano (siglo V a.C.). Museo Arqueológico de Paestum. Foto: Angel B. Feicisimo

Se encontraban asociados a diferentes rocas, pero se trabajaban de manera diferente. Con el martilleado o el calor se deformaban, permitiendo la elaboración de adornos.

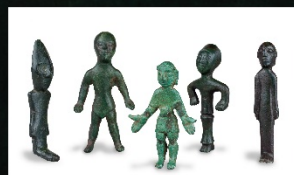
Pero en la naturaleza, los metales no suelen aparecer en estado puro y, cuando lo hacen, son especialmente escasos. Generalmente están combinados con otros elementos químicos, formando distintos minerales que no comparten esas extraordinarias propiedades.

Hace unos 7.000 años, su disponibilidad se incrementó significativamente tras un hallazgo formidable que dio inicio a la Edad de los Metales. En la hoguera, piedras verdes y azules se convirtieron en un brillante metal rojo.

Había nacido la metalurgia del cobre y comenzaba una nueva era tecnológica para la Humanidad.

Esas rocas de llamativos colores estaban compuestas mayoritariamente por malaquita y azurita, dos carbonatos que presentan temperaturas de fusión sensiblemente inferiores a las del cobre nativo. Ambos son menas de cobre, es decir, minerales de los que se extrae este metal.

En el tercer milenio a.C. se descubrió, probablemente de forma fortuita, una "variedad" de cobre especialmente dura al calentar juntos minerales de cobre y estaño. Esta aleación de ambos metales, el bronce, se utilizó en la confección de armas, corazas y herramientas, y otorgó un enorme poder a los pueblos que dominaron su tecnología.



Exvotos iberos de bronce (siglos IV y III a. C.). Foto: Museo de Prehistoria de Valencia.

La fuerte demanda de bronce se enfrentó con un hecho incontrovertible: la escasez de sus componentes en la corteza terrestre. La cantidad de cobre es de unos 27 g/ton. La de estaño, 2 g/ton.

Desde entonces, la búsqueda de metales fue una de las principales actividades humanas. Su nombre deriva del griego metallan, que significa buscar.

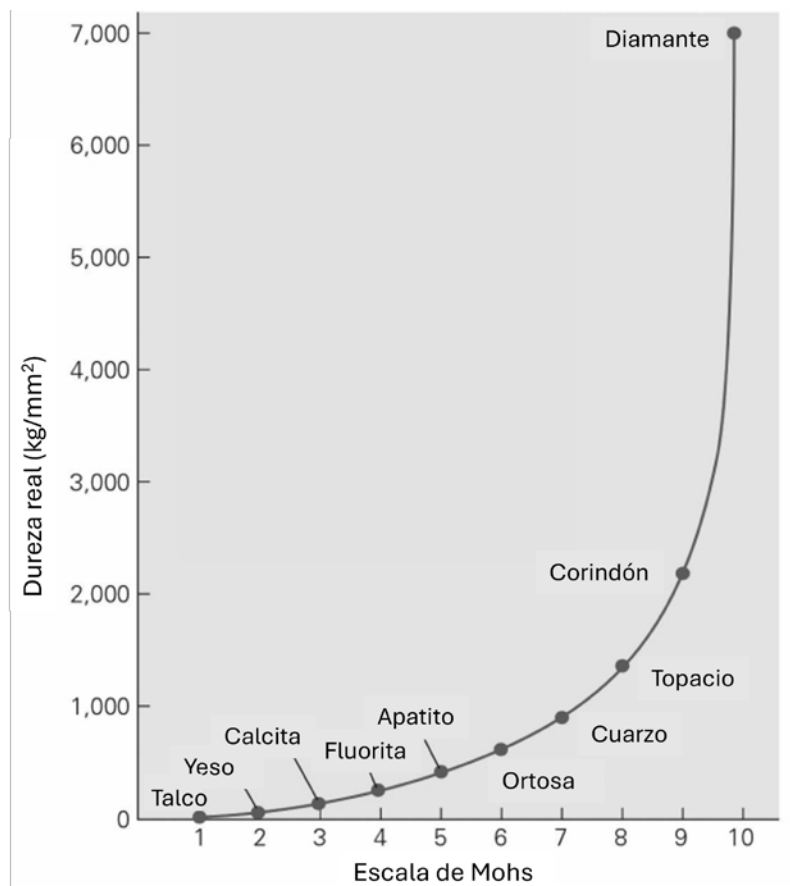


Tesoro de Villena (1^a 1000 a.C.), Museo de Villena (Alicante). Foto: Angel Verdu

VITRINA 1: EMPIEZA LA PREHISTORIA

¿Cómo se rompen los minerales?

Las propiedades físicas de los minerales dependen de su composición química y/o estructura. Los componentes químicos (átomos, iones o moléculas) y las fuerzas por las que se unen entre sí (enlaces químicos) condicionan ciertas propiedades (como la dureza, la transparencia o el brillo). Así, por ejemplo, aquellos minerales en los que predomina el enlace metálico suelen ser opacos (incluso en secciones muy delgadas), relativamente blandos y presentar brillo también metálico. En el extremo opuesto, los minerales en los que predominan los enlaces iónicos o covalentes suelen ser translúcidos o transparentes (al menos en secciones delgadas) y presentan brillo no metálico y dureza variada. La dureza de un mineral es la resistencia que ofrece su superficie a ser rayada (no confundir con tenacidad o fragilidad; hay minerales muy duros, como el diamante, pero que son frágiles, se rompen al ser golpeados). La dureza se mide en una escala semicuantitativa compuesta por 10 minerales que se utilizan como referencia. Esta escala fue propuesta por el mineralogista alemán Friedrich Mohs a principios del siglo XIX, y en ella cada mineral es rayado por el siguiente en la escala. La dureza más baja (1) es la del talco y la más alta (10) corresponde al diamante. Esto no significa que el diamante sea 10 veces más duro que el talco, ya que se trata de una escala no lineal. En términos absolutos el diamante es unas 7000 veces más duro.



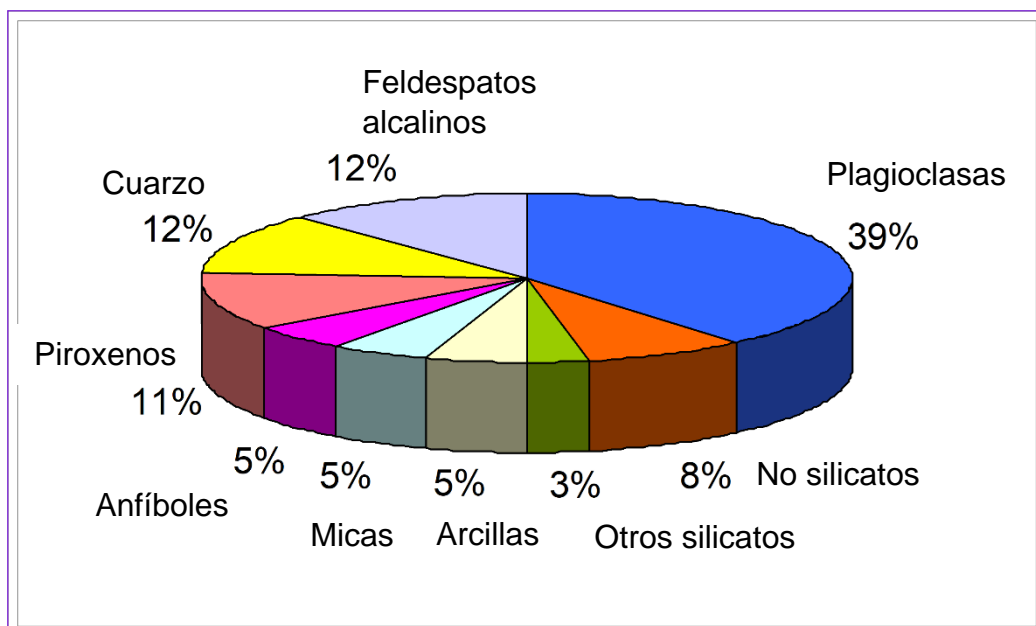
De igual manera, la forma en que se distribuyen los componentes químicos en el mineral (estructura cristalina) determina otras propiedades (como la morfología externa, la fractura, etc.). La fractura en los minerales depende de la distribución de esfuerzos que, a su vez, está relacionada con la estructura cristalina. Cuando en la estructura hay diferentes fuerzas de enlace, los minerales tienden a romperse según aquellas direcciones o planos en los que la fuerza de enlace es más débil. A esto se le denomina *exfoliación* y es muy evidente en el yeso, la calcita o las micas. Por ejemplo, en el caso del yeso (un sulfato de calcio con dos moléculas de agua), la exfoliación se produce a lo largo de los planos en los que se unen las moléculas de agua a través de enlaces químicos muy débiles (puentes de hidrógeno). Otros minerales, como el cuarzo y sus variedades, presentan enlaces semejantes en todas las direcciones y, por ello, su fractura es concoidea. Lo mismo sucede con la obsidiana (un vidrio volcánico silíceo) que es amorfo, es decir, carece de una disposición ordenada de sus componentes químicos.

¿Por qué son importantes las propiedades físicas de los minerales?

Los *minerales industriales* son aquellos que se usan directamente por alguna de sus propiedades físicas en algún campo de aplicación industrial. Por ejemplo, los minerales con elevada dureza se utilizan como abrasivos; los que tienen alta temperatura de fusión en la fabricación de materiales refractarios. De esta forma, puede decirse que minerales como el cuarzo (por su fractura y dureza) o diferentes óxidos de hierro, utilizados como pigmentos por su color rojo u ocre en las manifestaciones de arte rupestre, fueron los primeros minerales industriales usados por la Humanidad.

¿Cuáles son los minerales más abundantes?

Los elementos químicos más abundantes en la corteza terrestre son el oxígeno y el silicio. En número de átomos, algo más de 6 de cada 10 corresponden al oxígeno y al silicio algo más de 2. Por ello, los minerales con estos elementos como componentes principales (los silicatos) forman, aproximadamente, el 90% de la corteza. El cuarzo, aunque químicamente es dióxido de silicio, por su estructura cristalina se le considera un silicato y representa, aproximadamente, un 12% en volumen del total de la corteza.



VITRINA 2: ARTES DEL FUEGO Y MINERALES

¿Qué minerales eran necesarios para el fuego?

La pirita y la marcasita son sulfuros de hierro de fórmula FeS_2 . Estos minerales presentan la misma composición química, pero tienen diferente estructura cristalina y constituyen un ejemplo de lo que se denomina *polimorfismo*. Además, son compuestos *pirofóricos* (etimológicamente, “portadores de fuego”). Es decir, pequeñas partículas de estos minerales, como las que se obtienen al golpearlos con un mineral más duro, tienen la capacidad de arder espontáneamente en el aire, ya que su punto de autoignición es muy bajo. Cuando están cerca de un combustible adecuado pueden, por tanto, encender fuego. En esta propiedad se basa el mecanismo de chispas de algunos encendedores actuales.

Existen evidencias arqueológicas del uso de pirolusita en las hogueras con el fin de mejorar su rendimiento. El dióxido de manganeso reduce la temperatura de ignición de la madera e incrementa sustancialmente la tasa de combustión.

Los minerales y la cerámica

El barro está compuesto por diversos minerales que tienen en común su pequeño tamaño de partícula (arcillas), no superior a unas pocas micras. Los minerales más abundantes en él corresponden a silicatos cuya estructura cristalina está formada por láminas. Son los llamados *filosilicatos*. Algunos de estos minerales tienen la capacidad de absorber agua, lo que hace que se generen mezclas que tienen cierta plasticidad. Esto favorece su moldeado, permitiendo la obtención de objetos con utilidad práctica como todo tipo de vasijas.

Para que estos objetos tengan consistencia, es necesario someterlos al efecto del calor. Todos los minerales son estables dentro de rangos definidos de temperatura, sobrepasados los cuales se transforman en otros diferentes. En el caso de los filosilicatos, el calor va a provocar la expulsión del agua y los va a transformar en diversos minerales anhidros, dependiendo de las temperaturas alcanzadas y de la composición inicial de la mezcla de arcillas.

¿Qué es un mortero de construcción?

Los morteros son mezclas homogéneas de arena, agua y un aglomerante inorgánico, que puede ser cal, yeso o cemento. Se usan para unir elementos constructivos o recubrir y homogeneizar superficies. Inicialmente son materiales con elevada plasticidad, lo que permite trabajarlos y moldearlos según la necesidad. Posteriormente, el mortero sufre un proceso de endurecimiento y aumento de la resistencia mecánica, el fraguado, que lo hace útil como material de construcción.

Los morteros más antiguos son los de cal y yeso. La cal puede obtenerse a partir de un mineral muy común, la calcita (carbonato de calcio), mediante calentamiento a temperaturas por encima de unos 900 °C. Mediante este tratamiento térmico, la calcita se descompone para formar cal (óxido de calcio) y dióxido de carbono. De forma análoga, el yeso (un sulfato de calcio con dos moléculas de agua bastante frecuente en la Naturaleza) a temperaturas ligeramente por encima de los 100 °C, se deshidrata parcialmente para formar la basanita (sulfato de calcio con media molécula de agua). La basanita, el mineral que se emplea en los morteros (y, por ejemplo, en las escayolas de uso médico), tiene gran avidez por el agua, rehidratándose para volver a formar yeso en el proceso de fraguado.

En comparación con los morteros de cal, los morteros de yeso presentaban la ventaja de la menor temperatura para su obtención. En cambio, tenían el inconveniente de que este mineral es relativamente soluble en agua. Por ello, eran menos adecuados como unión o revestimiento de elementos constructivos exteriores en climas húmedos. Tanto los morteros de cal como los de yeso tienen propiedades ignífugas y los de cal propiedades antisépticas, lo que los hacía útiles para revestir lugares en los que tenían lugar ritos funerarios.



Cristales de calcita, junto con cuarzo y pirita. Foto: G. Pinto

VITRINA 3: EDADES DEL COBRE Y DEL BRONCE

Metales y minerales

Los metales tienen diferentes afinidades geoquímicas, esto es, tienen preferencia para unirse con determinados elementos químicos en la Naturaleza. Así, hay metales que pueden aparecer sin combinarse con ningún otro elemento químico o unidos a otros metales. Son los denominados metales *siderófilos*. Otros muestran preferencia por el azufre y se denominan *calcófilos*. Finalmente, los elementos *litófilos* tienden a combinarse con el oxígeno (bien en forma de óxidos o de otros minerales con oxígeno en su composición como carbonatos, silicatos, etc.). Estas afinidades dependen de las características del medio, de modo que un mismo metal puede tener preferencia por distintos elementos.

Son precisamente los metales siderófilos los que pueden aparecer en estado nativo, como el oro, la plata o el cobre. A veces pueden combinarse entre sí, formando aleaciones naturales, como el electrum, aleación de oro y plata. Los metales nativos sólo se forman en condiciones muy especiales, por lo que son bastante escasos. Se trata de minerales blandos, dúctiles y maleables, como consecuencia de su estructura cristalina y del enlace metálico entre sus átomos, lo que también les proporciona el brillo característico.

Los *minerales de mena* son aquellos a partir de los cuales puede obtenerse un determinado elemento químico, generalmente un metal, por un proceso en el que interviene la temperatura mediante calentamiento o calcinación. Los minerales de mena más comunes son los óxidos y los sulfuros.

Para que un mineral sea mena de un metal, ese mineral debe ser relativamente común, poseer el metal en una cantidad que haga rentable su explotación (esto es, que no sea un componente minoritario en el mineral) y que pueda extraerse de manera sencilla (es decir, que el coste de su separación sea inferior al de su precio en el mercado).



Magnetita, una de las principales menas de hierro. Foto: G. Pinto

De esta manera, por ejemplo, minerales como la dioplasa o la crisocola, silicatos que contienen entre un 30 y un 40% de cobre, no constituyen menas de este metal, ya que se trata de minerales poco abundantes y en los que el cobre está fuertemente enlazado en sus estructuras cristalinas, lo que supone un elevado coste energético para su separación. Incluso algunos óxidos, como la cuprita, que tienen contenidos extraordinariamente elevados de cobre, sólo excepcionalmente son menas de este metal cuando aparecen formando concentraciones importantes.

En particular, aunque el cobre tiene un carácter calcófilo muy marcado, en presencia de oxígeno pasa a comportarse como litófilo, de manera que los sulfuros originales tienden a transformarse en carbonatos, óxidos, sulfatos o silicatos. Así, actualmente, las principales menas de cobre corresponden a sulfuros como la calcopirita, la bornita, la covellina o la calcosina, cuyos contenidos en cobre varían entre el 35 y el 80%. Ocasionalmente, minerales como la azurita o la malaquita, con contenidos en cobre en torno al 50%, pueden ser también utilizados como menas de este metal.

En cuanto al estaño, su carácter es litófilo y el principal mineral de mena es la casiterita, un óxido de fórmula SnO_2 , que contiene casi un 80% de estaño. La aleación de cobre y estaño, en proporción aproximada de 9:1, constituye el bronce.

La importancia del estaño desde esta época la atestigua el término “casitérides”, adoptado en la Antigua Grecia para denominar a los centros productores de estaño en el occidente europeo y cuya localización exacta era desconocida por ellos. Hoy sabemos que uno de estos centros se encontraba en el noroeste de la Península Ibérica.



Malaquita, carbonato de cobre. Foto: G. Pinto