



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2022/2023

Nº de proyecto: 121

Título del proyecto:

**NUEVOS MODELOS CRISTALOGRAFICOS Y MINERALÓGICOS PARA
IMPRESORAS 3D**

Nombre del responsable del proyecto: Carlos M. Pina

Centro: Facultad de Ciencias Geológicas

Departamento: Mineralogía y Petrología

1.- Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El proyecto *NUEVOS MODELOS CRISTALOGRAFICOS Y MINERALOGICOS PARA IMPRESORAS 3D* es un proyecto de continuación de tres proyectos Innova-Docencia anteriores (nº 5, nº 98 y nº 24) y tenía como finalidad el diseño de nuevos modelos cristalográficos y mineralógicos para su impresión mediante impresoras 3D, así como su empleo y difusión con fines docentes y divulgativos. En el documento de presentación de dicho proyecto se propusieron los siguientes objetivos principales:

1.- Selección de modelos y estructuras de cristales, minerales, cuasicristales y minerales de ficción.

2.- Diseño e impresión de los modelos tridimensionales.

3.- Catalogación y distribución de los modelos.

4.- Preparación de colecciones físicas de formas y estructuras minerales.

5.- Difusión de los resultados.

2.- Objetivos alcanzados

La realización de este proyecto ha permitido alcanzar los objetivos propuestos, una vez adaptados al presupuesto concedido, que resultó ser un 25% más bajo que el solicitado. A continuación, se describen dichos objetivos alcanzados:

1.- Selección de modelos y estructuras de cristales, minerales, cuasicristales y minerales de ficción. Durante el desarrollo del proyecto se ha continuado con la labor de selección de modelos tridimensionales cristalográficos y mineralógicos de interés didáctico. Esta selección ha estado basada en la consulta de libros de texto de cristalografía, manuales de mineralogía, así como páginas web con contenidos mineralógicos (p.Ej. <https://www.webmineral.com>; <https://www.mindat.org>). Para este proyecto, también se ha prestado atención a los diseños de algunos minerales que aparecen en la ciencia ficción y que empleamos como ejemplos y excusas para hacer divulgación científica en charlas impartidas para *La semana de la Ciencia y Ciudad Ciencia*, una de las iniciativas divulgativas del CSIC.

2.- Diseño e impresión de los modelos tridimensionales. En este proyecto se ha continuado con la producción de ficheros *.stl* a partir de los programas Vesta, WinXMorph, Blender y Thinkercad), así como con la impresión de modelos cristalográficos y mineralógicos. Parte de las impresiones 3D se han realizado con la impresora 3D COLIDO COMPACT, adquirida con financiación de nuestro proyecto anterior (Innova-docencia nº 24; 2021-2022) y puesta a punto por los miembros del equipo del proyecto en el Departamento de Mineralogía y Petrología (UCM). Además, hemos realizado impresiones 3D de gran tamaño en otras impresoras. Entre esas

impresiones 3D, destacan las de minerales de ficción, algo que estaba previsto en el proyecto como material didáctico especial (**Figura 1**).



Figura 1. Modelo tridimensional del mineral ficticio kryptonita impreso a partir de un fichero stl diseñado a partir de un dibujo de la *Pequeña guía de minerales inexistentes* de Carlos M. Pina y Carlos Pimentel (2019). Al modelo se le ha incorporado iluminación led para hacerlo más llamativo.

3.- Catalogación y distribución de los modelos. Los nuevos modelos cristalográficos y mineralógicos generados se han subido en la plataforma gratuita [Thingiverse](https://thingiverse.com/) para su libre distribución y descarga. Como ya se ha explicado en otras ocasiones, *Thingiverse* permite almacenar y visualizar archivos .stl, que pueden ser posteriormente descargados por cualquier usuario para su impresión en una impresora 3D. *Thingiverse* se ha seleccionado por su facilidad de uso para los usuarios finales y por ser de las pocas plataformas que permiten controlar las estadísticas de los modelos (visitas y descargas).

Como en el caso de los proyectos innova-docencia anteriores, los modelos se han catalogado en secciones de las páginas web de *wordpress* diseñadas en proyectos anteriores: tarugos3d.home.blog y crystalmodels3d.wordpress.com (en inglés). Las estructuras cristalinas se han clasificado por sus similitudes.

4.- Preparación de colecciones físicas de formas y estructuras minerales.

Nuestros modelos cristalográficos y mineralógicos impresos forma ya una colección de más de 30 piezas que comienzan a emplearse con fines didácticos en las clases de Cristalografía impartidas en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Además, una selección de estos modelos puede contemplarse, junto a modelos cristalográficos históricos, en el Museo de la Geología que se encuentra en la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM) (**Figura 2**).



Figura 2.- Modelos cristalográficos expuestos en el Museo de la Geología de la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM).

5.- Difusión de los resultados.

Desde el día 15 de julio de 2019, momento en el que comenzó nuestro primer proyecto sobre impresiones 3D de modelos cristalográficos y mineralógicos hasta la actualidad se ha realizado una amplia labor de difusión del mismo por distintos medios: páginas oficiales de departamentos, bibliotecas y facultades de la UCM, campus virtual de asignaturas con contenidos mineralógicos y cristalográficos, redes sociales, emails a sociedades científicas, *ResearchGate*, etc.

Tal y como se dijo en la propuesta inicial, en este nuevo proyecto se ha hecho un especial hincapié en esa labor de difusión. Para ello algunos de los miembros de este proyecto han impartido conferencias, organizado exposiciones y presentado el proyecto en un congreso internacional. A continuación, se detallan las actividades de difusión realizadas entre septiembre de 2022 y el 20 de junio de 2023:

1.- Exposición “Descubriendo el mundo de los minerales”, organizada por Ángel Crespo López en la Casa de la Cultura de Malpartida de Cáceres (4 de noviembre a 2 de diciembre de 2022). En esta exposición se mostraron modelos cristalográficos realizados en este proyecto (**Figura 3**).



Figura 3. Detalle de una de las vitrinas de la exposición “Descubriendo el mundo de los minerales” en el que se muestran modelos cristalográficos realizados con una impresora 3D. Los ficheros de estos modelos pueden encontrarse en nuestra página <http://tarugos.home.blog>.

2.- Visita al Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela (mhn-USC). Entre los días 11 y 13 de noviembre de 2022, Victoria López-Acevedo realizó una inspección visual y un reportaje fotográfico de la colección original de sólidos cristalográficos de Haüy (s. XIX) que allí se exhibe. A partir de esta información se establecieron las comparaciones oportunas con algunos ejemplares del Museo de la Geología de la UCM, de origen desconocido, y se concluyó que podrían corresponder a la escuela francesa de principios del s. XIX, liderada por el Abad Haüy, y especializada en la fabricación de modelos cristalográficos de madera. El interés por contextualizar estas piezas estriba en que algunas de ellas, debido a su singularidad e interés científico, estaban seleccionadas para ser replicadas mediante impresoras 3D, dando cumplimiento a uno de los objetivos de este proyecto (**Figura 4**).



Figura 4. Modelos de madera de la colección de Haüy que se encuentra en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela. En primer plano se muestra un modelo cristalográfico realizado con una impresora 3D durante el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, nuestro grupo inició a través de Victoria López-Acevedo una relación con el MHN-USC, a través de su conservador, para dar a conocer algunos resultados de nuestro trabajo que podrían ser de interés para los talleres y actividades que se realizan en este museo.

3.- Conferencia "Minerales y Ciencia Ficción", impartida por Carlos M. Pina para estudiantes de educación secundaria dentro del programa divulgativo *Ciudad Ciencia* del CSIC (**Figura 5**). Esta conferencia se impartió en los siguientes IES: Alonso de Ercilla, Ocaña, Toledo (21-11-2022); Las Cumbres y Los Remedios, Ubrique, Cádiz (18-1-2023) y Vedruna, Tàrrega, Lleida (10-3-2023). Carlos M Pina también impartió la conferencia "Mineralogía Ficción" en la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM) (10-11-2022), como parte de las actividades de la Semana de la Ciencia. Durante estas conferencias se mostraron modelos 3D de minerales de ficción.



Figura 5. Foto tomada durante la conferencia “Minerales y Ciencia Ficción” impartida en el IES Las Cumbres, Ubrique (Cádiz).

La labor de difusión del presente proyecto no se ha limitado a las actividades mencionadas arriba, sino que se ha llevado a cabo también, como en proyectos anteriores, a través de nuestras páginas web; <http://tarugos.home.blog>. y crystalmodels3d.wordpress.com (en inglés). Desde el día 1 de septiembre de 2022, inicio de este proyecto, y hasta la fecha en que se ha elaborado el presente informe, estas páginas web han recibido más de 5500 visitas.

4.- Presentación en el congreso “Goldschmidt Conference 2023” de la comunicación *New 3D crystal models for teaching crystallography* por Carlos Pimentel y Carlos M. Pina (<https://conf.goldschmidt.info/goldschmidt/2023/meetingapp.cgi/Paper/15145>).

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 y ha consistido en las siguientes tareas:

Tarea 1: Búsqueda y recopilación de nuevas estructuras, morfologías cristalinas, cuasicristalinas y minerales de ficción de interés. Tarea realizada por todos los miembros del grupo

Tarea 2: Búsqueda y recopilación de modelos cristalográficos históricos. Tarea realizada por Victoria López-Acevedo en colaboración con otros miembros del grupo

Tarea 3: Generación de modelos históricos. Tarea iniciada por Vinicio Fernández y actualmente en progreso.

Tarea 4: Generación de minerales de ficción. Tarea realizada por Carlos M. Pina en colaboración con Carlos Pimentel.

Tarea 5: Elaboración de modelos tridimensionales. Tarea realizada por Carlos M. Pina en colaboración con otros miembros del grupo.

Tarea 6: Impresión de los modelos tridimensionales. Tarea realizada con la impresora 3D adquirida en nuestro proyecto innova-docencia nº24 y con otras impresoras externas.

Tarea 7: Recopilación, catalogación y presentación de los modelos tridimensionales. Tarea realizada por Carlos M. Pina y Victoria López Acevedo en colaboración con otros miembros del grupo y con Carlos Pimentel

Tarea 8: Difusión de los resultados. Esta tarea la han llevado a cabo Ángel Crespo, Victoria López-Acevedo, Ana Cabeza, en colaboración con Carlos Pimentel.

4.- Recursos humanos

El grupo dedicado a realizar este proyecto ha estado integrado por:

El Dr. Carlos Manuel Pina es profesor titular de Cristalografía y Mineralogía y ha sido supervisor del proyecto “Construcción de las 14 redes de Bravais” realizado por el alumno de Cristalografía de primer curso de Grado en Geología Wenrong Peng (2016). También ha sido miembro del PIMCD 12; 2015: Modelos de redes cristalográficas Recientemente, el Dr. Pina ha sido responsable de los proyectos Innova-Docencia-2017/18 nº 85 titulado “Nuevos recursos audiovisuales para la enseñanza de la Cristalografía: Cristales y difracción en videoclips”, Innova-Docencia-2018/19 nº118 titulado “Cristales, cristalización y difracción: Nuevo material audiovisual para la enseñanza de la cristalografía”, Innova-Docencia-2019/20 nº 5 “Diseño de modelos cristalográficos para impresoras 3D”, Innova-Docencia-2020/21 nº 98 “Diseño de estructuras cristalográficas para impresoras 3D” e Innova-Docencia-2021/22 nº 24 “Diseño de modelos cristalográficos y mineralógicos para impresoras 3D”.

La Dra. Victoria López-Acevedo es profesora titular de Cristalografía y Mineralogía ha sido responsable del proyecto PIMCD 12; 2015: Modelos de redes cristalográficas y miembro del equipo en 7 PIMCD: Modelado 3D de fenómenos geológicos en Islandia.

Nueva contribución al Canal Geología e Historia. PIMCD 77; 2016; La Cristalografía como plataforma para actividades de Aprendizaje-Servicio. PIMCD 62; 2014; Geohistoria: Recursos educativos para una enseñanza interdisciplinar. PIMCD 66; 2014; Aplicación de códigos QR y realidad aumentada a Museos y Colecciones de las Facultades de Ciencias Biológicas y Geológicas. PIMCD 352; 2014; Códigos QR y Realidad Aumentada en el Reloj Bio-Geológico del Real Jardín Botánico Alfonso XIII: herramientas didácticas para el fomento de la cultura científica. PIMCD 218; 2014 Los minerales como elementos interdisciplinares: una alternativa a la enseñanza tradicional. Aplicación al caso del oro. PIMCD 21; 2013; Aplicación de los modelos 3D para la enseñanza de Ciencias Naturales. PIMCD 74; 2011; Diseño y desarrollo de material docente digital en Mineralogía y su aplicación en una enseñanza interdisciplinar. La turquesa como ejemplo de elemento transversal. PIMCD 19; 2009. La Dra. Victoria López-Acevedo ha participado también en los proyectos PIMCD 12, 2015; Innova-Docencia-2017/18 nº 85; Innova-Docencia-2018/19 nº118, Innova-docencia-2019/20 nº 5, Innova-Docencia-2020/21 nº 98 e Innova-Docencia-2021/22 nº 24.

El Dr. David Ávila es catedrático de Química Inorgánica y ha impartido durante muchos cursos las asignaturas de Química Inorgánica I y II del Grado de Química en la Facultad de Químicas. Además, han sido durante años los profesores responsables de los laboratorios de difracción de rayos X de la asignatura Estructura, defectos y Caracterización de Materiales de segundo curso del Grado en Ingeniería de Materiales. El Dr. Ávila ha participado en los proyectos PIMCD 12, 2015, Innova-Docencia-2017/18 nº 85, Innova-Docencia-2018/19 nº118, Innova-Docencia-2019/20 nº 5, Innova-Docencia-2020/21 nº 98 e Innova-Docencia-2022/21 nº 24

El Dr. Jesús Prado Gonjal es profesor ayudante doctor en el Dpto. de Química Inorgánica de Facultad de CC. Químicas (UCM) e imparte asignaturas teóricas y prácticas de Química básica e Ingeniería de Materiales. Ha participado en el proyecto Innova-Docencia-2021/2 nº 24.

La Dra. Vanessa Amelia Cascos Jiménez es PDI en el Dpto. de Química Inorgánica de Facultad de CC. Químicas de la UCM ("Atracción de Talento") e imparte asignaturas prácticas de Operaciones Básicas de Laboratorio del Grado de Química. Además, ha realizado numerosas actividades de divulgación del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid entre 2015 y 2018. Ha participado en el proyecto Innova-Docencia-2021/22 nº 24.

Ana Cabeza Llorca es licenciada en Filología Clásica por la UCM y bibliotecaria en la institución desde 1999. Ha desempeñado sus servicios en la antigua EU de Trabajo Social y en la Facultad de CC. Matemáticas. En la actualidad es la directora de la Biblioteca José Luis Amorós de la Facultad de CC. Geológicas. Ha participado en los proyectos Innova-Docencia-2019/20 nº 5, Innova-Docencia-2020/21 nº 98 e Innova-Docencia-2021/22 nº 24.

D. Ángel Crespo López es estudiante del Doctorado en Geología e Ingeniería Geológica del departamento de Mineralogía y Petrología de la Facultad de Ciencias Geológicas. Ha sido alumno del Máster de Procesos y Recursos Geológicos y del Grado en Geología de la UCM. Ha participado en los proyectos PIMCD 12, 2015; Innova-Docencia-2017/18 nº 85; Innova-Docencia-2018/19 nº118, Innova-docencia-2019/20 nº 5, Innova-Docencia-2020/21 nº 98 e Innova-Docencia-2021/22 nº 24.

D. Vinicio Fernández Sequeira tiene el Grado en Turismo y el Máster en Dirección y Gestión de Empresas Hoteleras, ambos de la UCM. En el campo de la informática ha realizado distintos cursos en programación, entre ellos programación con lenguajes orientados a objetos y bases de datos relacionales, y programación en movilidad con

Android y html5. Actualmente continua con otros cursos relacionados con sistemas operativos Linux, y aplicaciones web PHP y MySql.

5.- Desarrollo de las actividades

Actividades realizadas: Como se ha venido haciendo en proyectos anteriores, los modelos cristalográficos y mineralógicos se han compartido en los campus virtuales de asignaturas de la UCM con contenido en cristalografía como Cristalografía (primer curso del grado en geología) y Geología (primer curso del grado en química). Estos modelos virtuales han servido para que los estudiantes pudiesen complementar el estudio de los modelos y las estructuras cristalográficos que se utilizan en clase.

Por otro lado, como ya se ha indicado en la sección de objetivos alcanzados, durante el desarrollo de este proyecto los resultados se han difundido mediante conferencias, exposiciones y una comunicación en un congreso internacional.

Finalmente, queremos destacar que al proyecto “Diseño de modelos cristalográficos y mineralógicos para impresoras 3D” (Innova-docencia nº 24), del que este proyecto es continuación, se le ha concedido el PREMIO JOSÉ ANTONIO CAMPO SANTILLANA AL MEJOR PROYECTO EN EL ÁREA DE CIENCIAS E INGENIERÍAS EN LA CONVOCATORIA 2021-22.

Actividades futuras: las páginas web con los modelos se mantendrán activas y actualizadas durante los próximos años y se continuará con la difusión de sus contenidos por diferentes medios. Además, para poder continuar con esta labor, se solicitó un nuevo proyecto para realizar nuevos modelos cristalográficos y mineralógicos que puedan ser impresos utilizando impresoras 3D (Innova-docencia nº95 2022-2023). Este proyecto ha sido concedido recientemente (<https://www.ucm.es/opc/file/listado-nominativo-ciencias-e-ingenierias-1>).