



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2019/2020

Nº de proyecto: **5**

Título del proyecto:

**DISEÑO DE MODELOS CRISTALOGRAFICOS 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 *DISEÑO DE MODELOS CRISTALOGRAFICOS PARA IMPRESORAS 3D* tenía como finalidad elaborar modelos en tres dimensiones de morfologías cristalinas y algunos cuasicristales y poliedros de coordinación atómica para su impresión mediante impresoras 3D. Para ello, en el documento de presentación de dicho proyecto se propusieron los siguientes objetivos:

1.1.- Seleccionar las morfologías de minerales, cuasicristales y poliedros de coordinación. Se seleccionarán el mayor número posible de morfologías y se estudiarán cuáles de ellas son las más interesantes para su elaboración en tres dimensiones.

1.2.- Diseñar e imprimir los modelos. Mediante programas específicos se diseñarán los modelos cristalográficos y se imprimirán para comprobar la calidad de los mismos. Se estima que durante la duración del proyecto podrán diseñarse entre 40 y 50 modelos distintos e imprimirse una selección de ellos.

1.3.- Catalogar y distribuir los modelos. Todos los modelos se catalogarán, en función del sistema cristalográfico y la simetría puntual, en un repositorio de la plataforma del taller de apoyo a la investigación UCM o en una página web UCM destinada a tal efecto.

2. Objetivos alcanzados

La realización de este proyecto ha permitido alcanzar la mayoría de los objetivos propuestos, a pesar de que sólo se concedió el 75 % del presupuesto solicitado. Esto ha sido posible, gracias al esfuerzo y al interés del personal dedicado a este proyecto y a la colaboración de personas externas a él. Si se hubiera contado con la totalidad del presupuesto solicitado, la colección de sólidos cristalográficos se habría podido enriquecer con algunos modelos de carácter histórico. Para hacer esto era necesario trasladarse a algunos museos españoles y tomar allí fotos y medidas, cosa que no se pudo llevar a cabo con el reducido presupuesto. A continuación, se describen las labores realizadas en relación a los objetivos propuestos:

2.1. Selección de modelos cristalográficos y poliedros de coordinación: durante el desarrollo del proyecto se han seleccionado más de 100 modelos cristalográficos y 5 poliedros de coordinación. Para ello, se han revisado libros antiguos de cristalografía y mineralogía como el *Traité de Minéralogie* de Haüy (1823) y el *Atlas der Krystallformen* de Goldschmidt (1913) y se han estudiado en detalle las morfologías de diferentes minerales utilizando las páginas web *webmineral.com* y *mindat.org*. Además, para la realización de algunos modelos se han empleado algunos de los modelos originales de madera de la colección de Haüy que se conservan en el Museo de Geología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM.

2.2. Realización de modelos tridimensionales: los modelos cristalográficos tridimensionales se diseñaron utilizando diferentes programas y plataformas gratuitas (por ejemplo, *Vesta*, *WinXMorph*, *Blender* y *Thinkercad*). Para el día 2 de junio de 2020 ya se habían elaborado 105 modelos.

2.3. Impresión de algunos modelos mediante impresora 3D: para comprobar la validez y calidad de los modelos cristalográficos diseñados, se seleccionaron algunos de estos para ser imprimidos en el taller mecánico de la UCM. En concreto se imprimieron cinco modelos y queda pendiente la impresión de otros tantos, algo que se hará cuando el taller vuelva a retomar su actividad.

2.4. Recopilación y catalogación de los modelos cristalográficos: los modelos cristalográficos se han subido a la plataforma gratuita *Thingiverse* para su libre distribución y descarga (**Figura 1**). *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 manejo para los usuarios finales y por ser de las pocas plataformas que permiten controlar las estadísticas de los modelos (visitas y descargas).

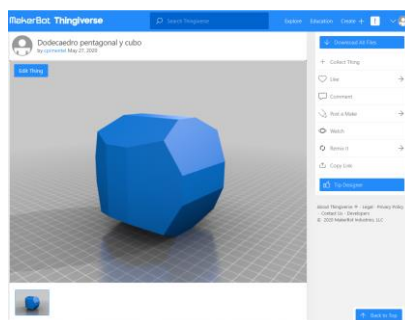


Figura 1. Modelo tridimensional de una combinación de cubo y dodecaedro pentagonal en *Thingiverse*. En la esquina superior derecha se encuentra el botón *Download all files*, desde el cual se puede descargar el archivo .stl para su posterior impresión.

Además, los modelos se han catalogado en dos páginas web de *wordpress* diseñadas expresamente para este proyecto: tarugos3d.home.blog (en español) (**Figura 2**) y crystalmodels3d.wordpress.com (en inglés). Los modelos cristalográficos se han catalogado por sistema cristalino y grupo puntual. Además, se han creado categorías propias para los poliedros de coordinación, maclas y las réplicas de los modelos históricos de Haüy.



Figura 2. Página de inicio de la web tarugos3d.home.blog. En el menú superior se puede ver la clasificación en sistemas cristalinos, maclas, cristales de Haüy (replicas) y poliedros de coordinación.

2.5. Difusión del proyecto: desde el día 15 de julio de 2019, momento en el que comenzó oficialmente este proyecto, 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 contenido de cristalografía, redes sociales, *emails*, comunicaciones a sociedades científicas y *ResearchGate*, por nombrar sólo algunos. Esta labor de difusión constante puede considerarse un éxito dada la alta cantidad de visitas y descargas de los modelos cristalográficos registradas en *Thingiverse*. Desde el día 15 de julio de 2019 hasta el 15 de marzo de 2020 (momento en el que *Thingiverse* deja de contabilizar las visitas), **los modelos cristalográficos fueron visualizados 5537 veces**. Desde el día 15 de julio de 2019 y hasta el 12 de junio de 2020 (momento en el que se concluye la elaboración de este informe), **los modelos han sido descargados 4468 veces**. Además, gracias a un comentario dejado en la web crystalmodels3d.wordpress.com, sabemos también que muchos de estos modelos tridimensionales se están utilizando en un curso de mineralogía en la Universidad Baylor, EE.UU. (**Figura 3**).

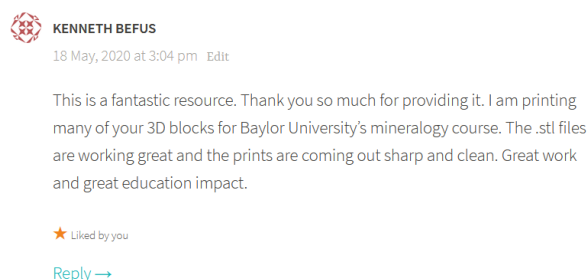


Figura 3. Comentario del profesor Kenneth Befus en crystalmodels3d.wordpress.com.

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. Selección de modelos cristalográficos y poliedros de coordinación. Todos los miembros del grupo se encargaron de esta tarea.

Tarea 2. Diseño de los modelos cristalográficos. Tarea realizada por Carlos Pimentel.

Tarea 3. Impresión en 3D de algunos modelos cristalográficos. Tarea realizada en el taller mecánico de la UCM bajo la supervisión de todos los miembros del equipo.

Tarea 4. Recopilación y catalogación de los modelos cristalográficos. Tarea realizada por Carlos Pimentel, Ángel Crespo, Carlos M. Pina y Victoria López-Acevedo, en colaboración con los demás miembros del grupo.

Tarea 5. Difusión del proyecto. Todos los miembros del grupo se encargaron de esta tarea y Ana Cabeza desde un punto de vista más institucional.

4. Recursos humanos

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

Dos profesores del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Facultad de Ciencias Geológicas:

El Dr. Carlos M. Pina imparte asignaturas de Cristalografía en la Facultad de Ciencias Geológicas. También ha sido miembro del PIMCD 12, 2015; Innova-docencia-2017/18 nº 85; e Innova-docencia-2018/19 nº118. La Dra. Victoria López-Acevedo también imparte asignaturas de Cristalografía en las Facultad de Ciencias Geológicas y Ciencias Químicas y ha participado en los siguientes proyectos de innovación docente: PIMCD 12-2015; 7-PIMCD; PIMCD 77-2016; PIMCD 62-2014; PIMCD 66-2014; PIMCD 352-2014; PIMCD 218-2014; PIMCD 21, 2013; PIMCD 74, 2011; PIMCD 19, 2009.

Tres profesores de la facultad de Ciencias Químicas:

El Dr. Carlos Otero, el Dr. David Ávila y la Dra. Elisabeth Castillo imparten las asignaturas de Química Inorgánica I y II del Grado de Química en la Facultad de Ciencias Químicas. Además, imparten 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. Carlos Otero imparte cursos sobre la Difracción de Electrones (de Máster y Posgrado) desde 1990. El Dr. Otero y el Dr. Ávila han participado en los proyectos PIMCD 12; 2015; Innova-docencia-2017/18 nº 85; e Innova-docencia-2018/19 nº118.

Una bibliotecaria de la Facultad de Ciencias Geológicas:

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 Ciencias Matemáticas. En la actualidad es Directora de la Biblioteca José Luis Amorós de la Facultad de Ciencias Geológicas.

Un profesor-investigador en formación.

D. Ángel Crespo López ha sido alumno del Máster de Procesos y Recursos Geológicos y actualmente es estudiante de doctorado y colaborador honorífico del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Facultad de Ciencias Geológicas. Participó en los proyectos PIMCD 12, 2015; Innova-docencia-2017/18 nº 85; e Innova-docencia-2018/19 nº118.

Un investigador del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC) y colaborador honorífico del Departamento de Mineralogía y Petrología.

El Dr. Carlos Pimentel Guerra es doctor en Geología por la UCM e investigador Juan de la Cierva en el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC). Ha participado en los PIMCD 12, 2015; Innova-docencia-2017/18 nº 85; e Innova-docencia-2018/19 nº118.

5. Desarrollo de las actividades

Actividades realizadas: los modelos cristalográficos 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). Todos los modelos están diseñados para facilitar el proceso de impresión y su eje mayor tiene un tamaño de 10 cm, para que sea fácilmente escalable para su posterior impresión en 3D. Además, la gran mayoría de los modelos realizados están apoyados sobre una cara, para evitar, en la medida de lo posible, la impresión de estructuras de sujeción (que suponen un consumo adicional del cartucho de las impresoras).

Estos modelos virtuales han servido y están sirviendo para que los estudiantes puedan complementar en casa el estudio de los modelos cristalográficos de madera que se utilizan en clase. De este modo, los estudiantes han podido visualizar *online* o descargarse los modelos para estudiarlos en sus ordenadores personales, móviles o *tablets*, mediante *Paint3D* (software incluido por defecto en las últimas versiones de *Windows*) o cualquier otro *software* que permita visualizar archivos 3D (p.ej., los programas gratuitos *Blender* o *viewSTL*). Por otro lado, las páginas web donde se han catalogado los modelos se han distribuido a través de numerosos medios, lo que ha permitido que los modelos se hayan descargado más de 4000 veces. En concreto, se utilizó la web institucional de la UCM, se llevó a cabo una intensa actividad en redes sociales y se hizo un *mailing* a las facultades o departamentos con los que la facultad de Ciencias Geológicas tiene acuerdos de intercambio. Todo esto ha permitido que estos modelos diseñados en la Universidad Complutense de Madrid sean ampliamente conocidos y estén disponibles en otras universidades.

Una de las ventajas de la difusión en redes sociales y de disponer de una página web propia a través de las que es posible recibir mensajes es que durante el desarrollo del proyecto hemos podido leer comentarios y sugerencias de las personas interesadas en nuestros sólidos cristalográficos. Esto nos ha permitido atender a sus preguntas y peticiones y desarrollar modelos específicos de forma personalizada, ofreciendo una especie de “servicio a la carta”. Asimismo, la interacción con los usuarios de nuestra página web resulta muy interesante para mejorar los modelos y corregir eventuales errores de construcción o accesibilidad.

Además, si se tiene en cuenta el poco tiempo que lleva disponible la página web de nuestro proyecto, podría decirse que ha resultado ser una contribución muy eficaz a la enseñanza de la Cristalografía. En relación al futuro, si se continúa en la línea seguida hasta ahora, es muy probable que en los próximos cursos académicos, nuestros modelos cristalográficos se usen como recurso didáctico en numerosas universidades e instituciones científicas. Más aún, si se tiene en cuenta la tendencia creciente a la implantación de la docencia *on-line*, el desarrollo de recursos como nuestro proyecto tendrán una gran acogida y el éxito asegurado.

Actividades futuras: las páginas web (en español y en inglés) con los modelos se mantendrán activas y actualizadas durante los próximos años y se irán añadiendo nuevos modelos de interés, incluyendo modelos de cuasicristales, poliedros de coordinación y estructuras cristalinas. Esto se hará simultáneamente a nuestra labor de difusión de las páginas web por diferentes medios, fundamentalmente a través de redes sociales y anuncios institucionales desde la Biblioteca de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, el departamento de Mineralogía y Petrología (UCM) y el Instituto de Geociencias (UCM-CSIC).

Para continuar con esta labor y seguir aumentando el número de modelos, queremos solicitar un nuevo proyecto para realizar diseños de estructuras cristalinas que puedan ser imprimidas utilizando una impresora 3D. Dicho proyecto requerirá comprar una impresora 3D, ya que la complejidad del diseño de estas estructuras necesita un continuo proceso de ensayo y error, que no podría ser llevado a cabo en el taller mecánico de manera eficiente. También nos gustaría llevar a cabo la labor de digitalización de las colecciones antiguas de modelos cristalográficos de las que dispone el Museo de Geología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, así como otros museos españoles (por ejemplo, el museo Geominero). Para ello haría falta un escáner 3D y desplazarse a los distintos museos de interés. El escáner 3D permitirá obtener unos modelos muy precisos sin necesidad de manipular los delicados modelos de madera y arcilla de los siglos XVIII, XIX y XX. Todos estos nuevos modelos se recogerán también en nuevas secciones de las dos webs elaboradas durante este proyecto.