



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

**Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente**

**Convocatoria 2015**

**Nº de proyecto: 12**

**Título del proyecto: Modelos de redes cristalográficas**

**Nombre del responsable del proyecto: Victoria López-Acevedo**

**Centro: Facultad de Ciencias Geológicas**

**Departamento: Cristalografía y Mineralogía**

## 1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

La enseñanza de la Cristalografía se encuentra a menudo con la dificultad de mostrar con sencillez la disposición espacial de los elementos geométricos y simétricos que definen las estructuras de los cristales. Aunque el reciente desarrollo de programas informáticos que permiten la representación y animación de redes y estructuras cristalinas es sin duda de gran ayuda para la enseñanza de la Cristalografía, nuestra experiencia docente nos ha demostrado que los sencillos modelos cristalográficos reales que pueden ser manipulados por los estudiantes poseen un alto valor educativo.

Para ello propusimos abordar el diseño y la construcción de modelos de las cinco redes planas (oblicua, rectangular, rómbica, cuadrada y hexagonal), sobre los que se pueda indicar la disposición de sus elementos de simetría (ejes de rotación, planos de simetría y planos de deslizamiento). Estos modelos estarían contruidos con bolas de madera y varillas de acero y los elementos de simetría fabricados sobre soportes magnéticos que permitieran situarlos fácilmente sobre posiciones específicas de las redes.

Estos modelos serían además desmontables, de tal modo que los profesores y estudiantes pudieran construir paso a paso cada una de las cinco redes planas y localizar sus elementos de simetría. Finalmente, estaba previsto que estas redes, una vez montadas, pudieran apilarse en la dirección vertical, lo que permitiría construir las catorce redes cristalográficas tridimensionales o Redes de Bravais. Estos modelos vendrían acompañados de un folleto en el que se explicarían conceptos cristalográficos básicos, incluyendo también unas instrucciones de montaje.

Este material sería útil para la enseñanza de todas aquellas titulaciones con contenidos cristalográficos y podría ser utilizado en asignaturas de estudios en Geología (Grado e Ingeniería), Ingeniería de Minas, Química, Ingeniería Química e Ingeniería de Materiales.

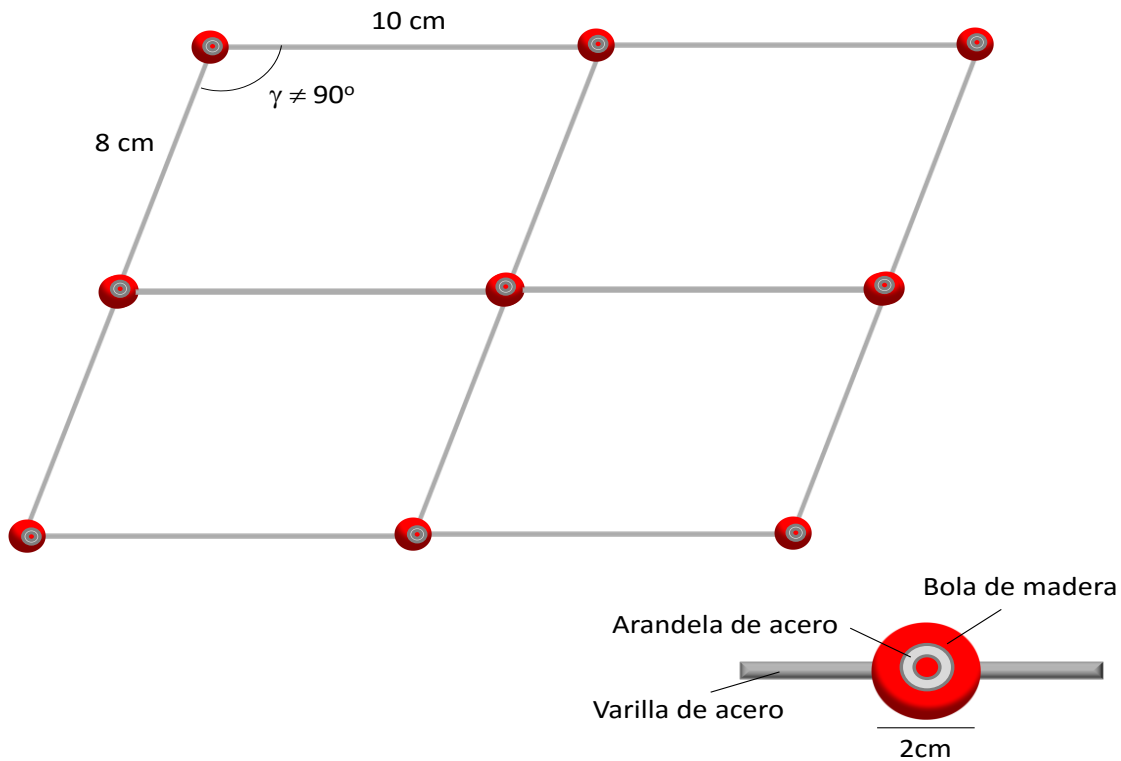
En resumen, los objetivos del proyecto fueron los siguientes:

**1.- Diseñar cada una de las cinco redes planas** para ser contruidas posteriormente a base de bolas de madera, varillas metálicas y otros elementos metálicos con propiedades magnéticas.

Estas redes deberían tener una serie de características:

- Dimensiones adecuadas para ser manejadas en el aula por los profesores y estudiantes.
- Tener los elementos necesarios para poder apilarse y construir con ellas cada una de las 14 Redes de Bravais. Es decir, disponer de conjuntos de tres o cuatro redes planas de cada tipo y de varillas de la longitud adecuada para el apilamiento.

En la siguiente figura se muestra el esquema preliminar de uno de estos diseños:



**2.- Diseñar los accesorios que representan a los elementos de simetría** propios de estas redes. Estos accesorios deberían tener un soporte magnético para poder situarlos sobre las arandelas metálicas de las bolas o sobre las varillas metálicas que las unen.

**3.- Construir los modelos de redes diseñadas**, incluyendo los elementos de simetría y el sistema de montaje. Estaba previsto llevar a cabo dicha construcción en el taller mecánico de la Universidad Complutense de Madrid.

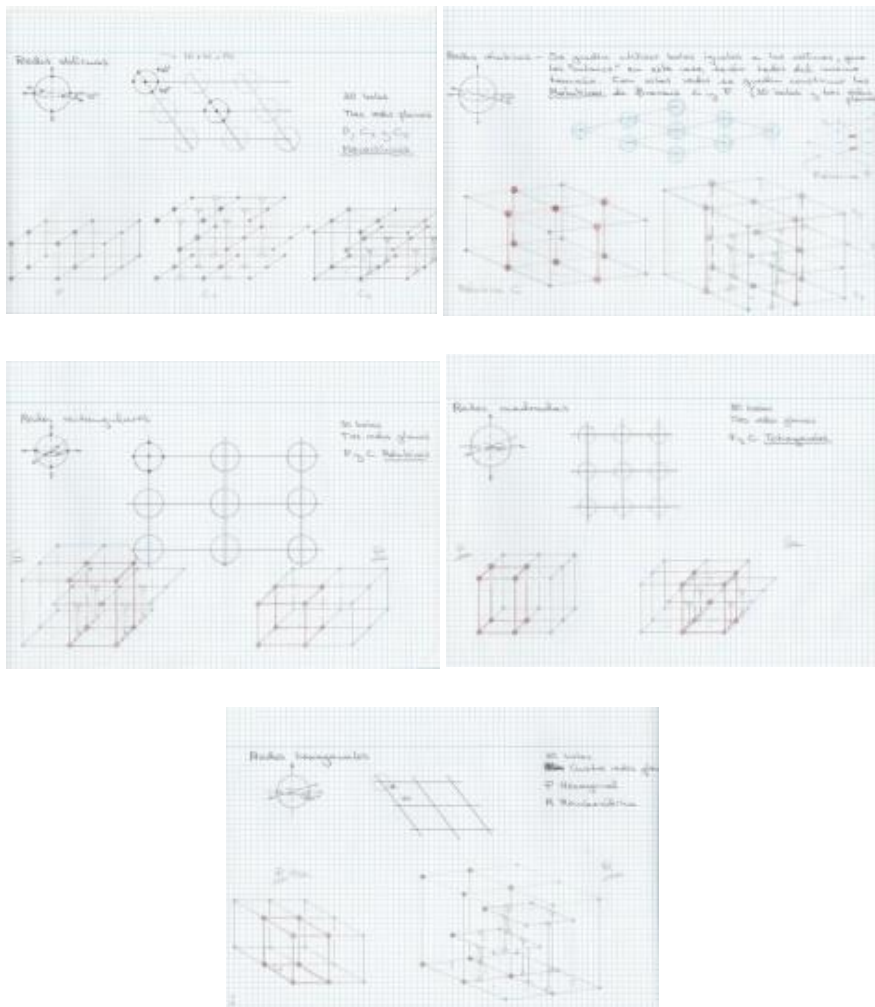
**4.- Redactar un folleto explicativo** con una descripción de la geometría y simetría de las redes planas y de Bravais, así como unas instrucciones para el montaje de los modelos.

5.- Finalmente se pretendía -además de utilizarlo para la enseñanza de todas aquellas titulaciones con contenidos cristalográficos- dar continuidad y **potenciar la estrecha vinculación que tradicionalmente ha existido, desde el punto de vista docente - en el área de la Cristalografía- entre la Facultad de Químicas y el Dpto. de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Ciencias Geológicas.**

## 2. Objetivos alcanzados

Debido a la falta de financiación no nos ha sido posible alcanzar todos los objetivos previstos, especialmente aquellos relacionados con la adquisición de material que obviamente suponían un desembolso. Los gastos de material han sido sufragados por los componentes del equipo, mientras que los gastos relativos al trabajo en el taller mecánico de la UCM han sido sufragados por el Dpto. de Cristalografía y Mineralogía de la UCM. Teniendo en cuenta estas premisas se han alcanzado los siguientes objetivos:

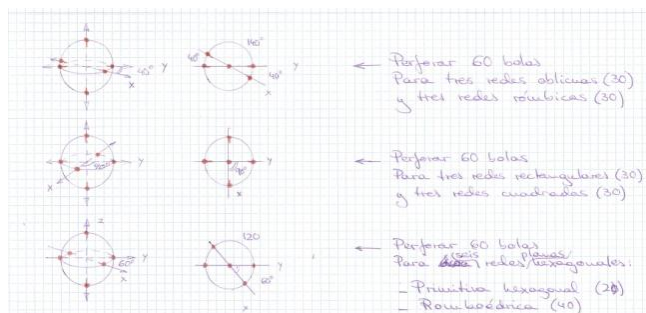
**1.- Diseño de las redes.** Se han realizado diseños a mano alzada que se conservan para perfeccionarlos y completarlos en un futuro. La idea inicial de encargar estos diseños al taller de delineación no se ha podido llevar a cabo debido a la citada falta de financiación,. A continuación se muestran los diseños realizados:



**2.- Adquisición del material.** Los componentes del equipo sólo han comprado las bolas de madera, tinte rojo y una parte de las varillas metálicas previstas. Es decir, no se ha adquirido material para ningún accesorio más. Se acordó emplear pegatinas de papel para marcar la posición de los elementos de simetría y prescindir de las piezas en forma de T que harían falta para montar las redes múltiples.

Por tanto, el material adquirido nos ha permitido montar siete de las catorce Redes de Bravais, concretamente las primitivas (P), las cuales no requieren piezas ni diseños especiales.

**3.- Trabajo del taller mecánico de la UCM.** Este trabajo ha consistido en cortar las varillas y perforar las bolas de madera de acuerdo con el esquema que se muestra a continuación:



Para la perforación de las bolas según los ángulos requeridos para hacer los modelos, el personal del taller diseñó y realizó una ingeniosa pieza que fue utilizada con éxito y que se conserva para completar el proyecto. A continuación se muestran unas imágenes de dicha pieza:



*En la pieza que se muestra arriba, las bolas de madera se introducen en el orificio central y se sujetan mediante una prensa. A través de las perforaciones laterales –que están dispuestas de acuerdo con unos valores angulares específicos– se practican las perforaciones en las bolas.*

**4.- Redacción del folleto explicativo.** El folleto explicativo con la descripción de la geometría y la simetría de las redes (planas y de Bravais) así como unas instrucciones para el montaje de los modelos no se ha redactado ya que con el material disponible no ha sido posible completar el proyecto y construir las catorce redes.

**5.- Uso de los modelos en el aula.** Los modelos han sido ya utilizados con éxito en la asignatura de Cristalografía del Grado en Geología, donde cubren el vacío de recursos docentes relacionados con uno de los temas más complejos del temario. Esta asignatura se ha impartido durante el primer semestre del curso 2015-2016. En el momento actual se está utilizando en la asignatura de Geología para Químicos del Grado en Química, cuyo contenido es básicamente cristalográfico.

### 3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología empleada ha sido la misma descrita en el apartado de metodología de la solicitud, aunque adaptada a las condiciones económicas impuestas. Según esto el plan de trabajo seguido ha sido el siguiente:

1. Diseñar y dibujar los planos para la construcción de los modelos de las cinco redes planas.

2. Recalcular el material -para la construcción de los modelos- que se iba a poder adquirir teniendo en cuenta las nuevas condiciones de financiación impuestas (así como algún detalle imprevisto surgido a la hora de hacer los diseños) y adquirir dicho material:

En lugar de las 150 bolas de madera, 100 varillas de acero, 300 arandelas de acero y dos planchas de chapa magnética para troquelar los elementos de simetría, se recalcaron y adquirieron: 200 bolas y 37 m de varillas de acero.

Además se compró 1 frasco de tinte al agua de color rojo (marca PROMADE) para madera que no estaba previsto en el plan inicial.

En total se han preparado materiales para construir 3 conjuntos de modelos para las redes oblicua, rectangular, rómbica y cuadrada (con cuatro celdas unitarias cada una) y 4 conjuntos de modelos para la red hexagonal (también de cuatro celdas). Apilando convenientemente estas redes se pueden construir siete de las catorce Redes de Bravais.

3. En el taller mecánico de la Universidad Complutense de Madrid se perforaron las bolas y se cortaron las varillas de acero. Esta tarea se planteó como un importante objetivo del proyecto ya que constituye un primer paso para la realización de futuros trabajos en este terreno.

4. Se ha elaborado la presente memoria final.

#### 4. Recursos humanos

El grupo ha estado integrado por seis personas especialmente involucradas con la divulgación científica en general (tal como se desprende de su currículum) y con la enseñanza de la Cristalografía en particular:

*Tres profesores de la Facultad de Ciencias Geológicas:*

- Dña. Victoria López-Acevedo y D. Carlos Manuel Pina son los encargados de impartir la asignatura "Cristalografía" de primero de Grado en Geología, en la Facultad de Geológicas. Los dos grupos de teoría y de prácticas.
- Dña. Victoria López-Acevedo imparte además algunos grupos de prácticas de la asignatura "Geología para Químicos", con importante contenido cristalográfico.
- Dña. Elena Vindel es la coordinadora de la asignatura Geología para Químicos que se imparte en el primer curso del Grado de Química en la Facultad de Químicas. Asimismo es la encargada de uno de los seis grupos de esta asignatura (teoría y prácticas). El contenido de esta asignatura es básicamente cristalográfico.

*Dos profesores de la Facultad de Químicas:*

- D. Carlos Otero y D. David Ávila imparten las asignaturas de Química Inorgánica I y II, en segundo y tercer curso, respectivamente, del Grado de Química en la Facultad de Químicas, también con un importante contenido cristalográfico.
- D. David Ávila es además *profesor con currículum académico joven*.

*Un PDI joven:*

- D. Carlos Pimentel Guerra. A este profesor-investigador le han sido asignados varios grupos de prácticas de la mencionada asignatura Geología para Químicos de la Facultad de Químicas. Además es *profesor con currículum académico joven*.

*Un alumno del Máster de Procesos y Recursos Geológicos:*

- D. Ángel Crespo López está integrado en un equipo de investigación del Departamento de Cristalografía y ha colaborado en la fabricación del material descrito y ha aportado su punto de vista, como alumno, acerca de la utilidad y el valor didáctico de los modelos.

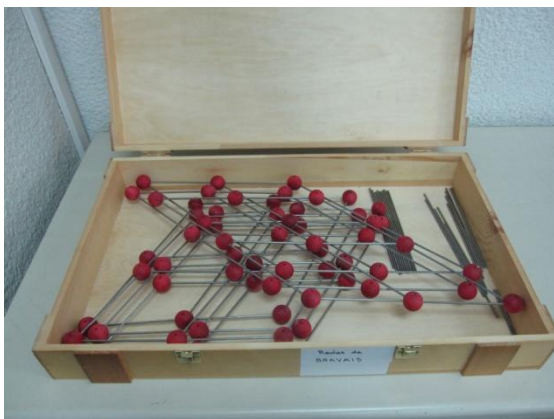
## 5. Desarrollo de las actividades

Los modelos fabricados han sido utilizados tanto en clases de teoría como de prácticas y constituyen un recurso didáctico excepcional para abordar algunos de los temas más difíciles del programa que además no contaban –hasta ahora– con ningún soporte docente de este tipo (excepto los consabidos programas informáticos con montajes en 3D con distintos tipos de animación).

Los temas básicos de aplicación han sido:

- Estructura interna del cristal. Concepto de periodicidad. Concepto de: traslación, red, nudo. Anisotropía, homogeneidad y simetría. Redes mono, bi y tridimensionales. Las cinco redes planas y las catorce redes de Bravais. Vectores traslación. Índices de filas y planos reticulares. Espaciado reticular. Celda elemental y celda fundamental.
- Paralelepípedo unidad. Constantes reticulares o cristalográficas. Relación paramétrica. Operadores de simetría. Simetría puntual y simetría espacial. Elementos de simetría compatibles con la traslación. Grupos puntuales bidimensionales. Simetría de las redes planas. Planos de deslizamiento. Los 17 grupos planos.
- Simetría en tres dimensiones. Ejes helicoidales. Construcción de las 14 redes de Bravais. Vector apilamiento. Simetría de las redes de Bravais. Simetría de las estructuras cristalinas. Los 230 grupos espaciales.
- Proyección de estructuras tridimensionales.

En las clases de teoría han permitido que se comprendan todos estos conceptos tan abstractos que explican las estructuras cristalinas y que son, en ocasiones de difícil visualización. Como complemento, en las clases prácticas los alumnos han podido manipular y construir ellos mismos estas redes que expresan la disposición de los átomos en las estructuras cristalinas:

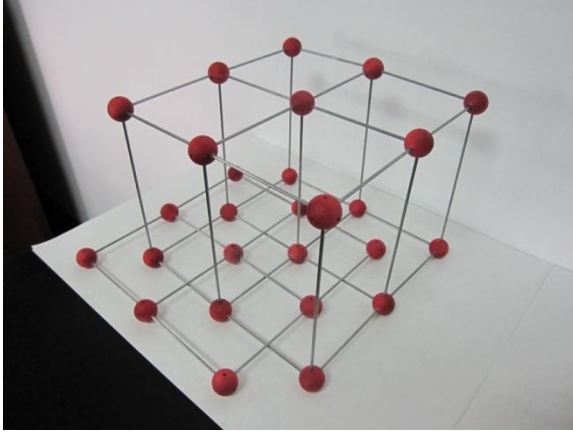


*El estuche contiene los modelos de cada una de las cinco redes planas. Hay juegos de tres redes para la oblicua, la rectangular, la rómbica y la cuadrada y de cuatro para la hexagonal.*

*También contiene las varillas necesarias para el apilamiento de estas redes planas y la construcción de redes tridimensionales.*

El tamaño y rigidez de los modelos permite mostrarlos en aulas grandes con un elevado número de alumnos. Gracias a ellas se visualizan los conceptos de red, nudo, traslación, celda elemental, etc.

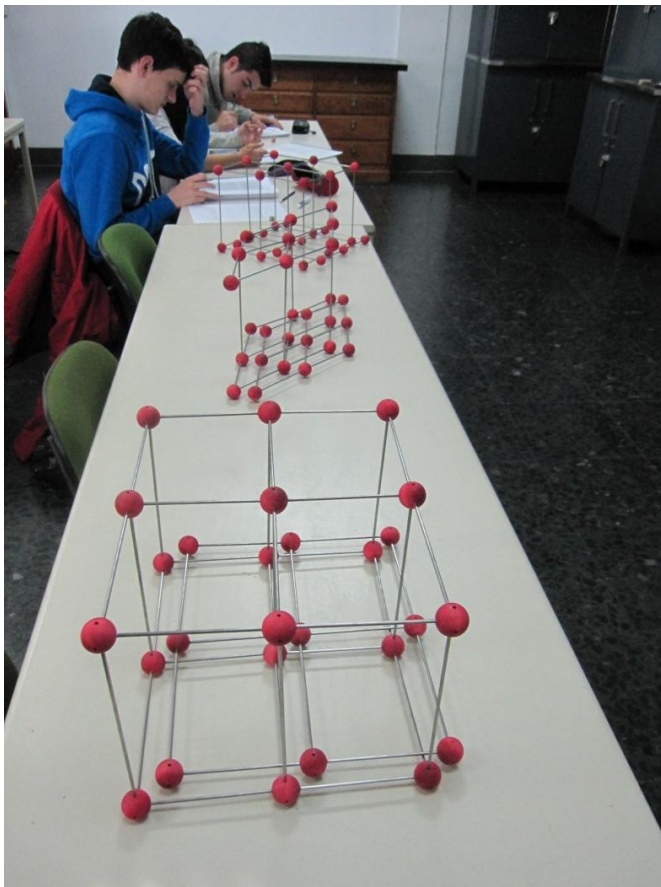




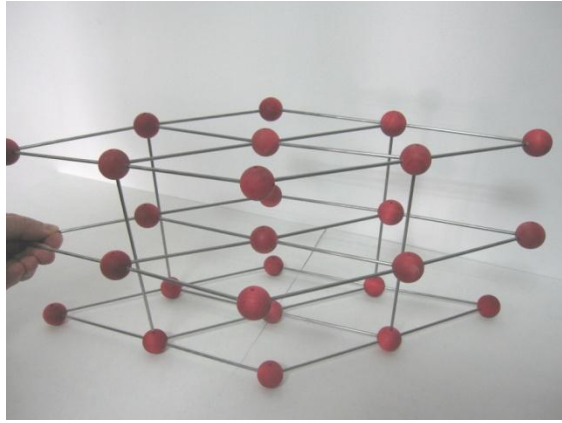
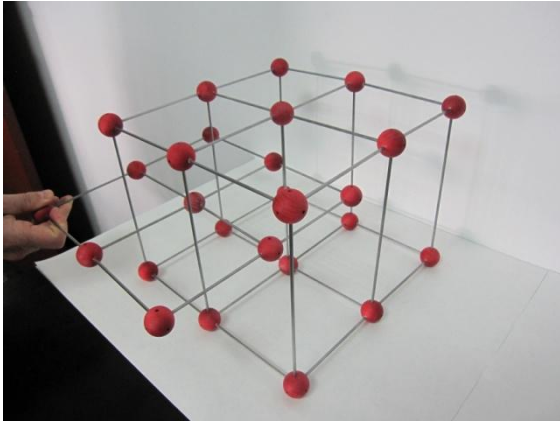
*Los pilares permiten apilar las redes paralelamente y construir las redes de Bravais.*

Además, al construir las redes de Bravais se visualizan otros conceptos relativos al espacio tridimensional, los cuales son característicos de las estructuras cristalinas, como el espaciado reticular, el paralelepípedo unidad, los vectores de apilamiento, etc.

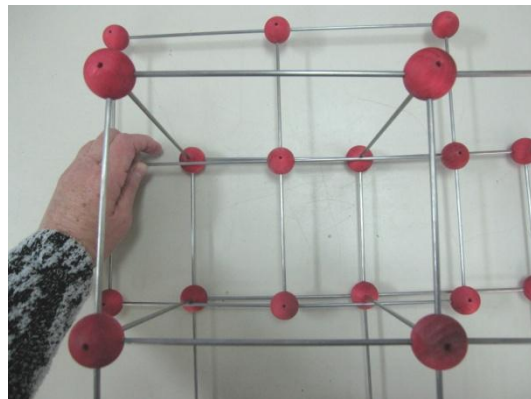
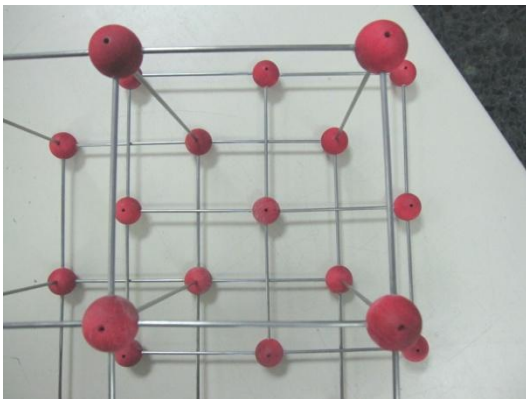
Las pegatinas con los iconos de los elementos de simetría permiten situar estos elementos en su posición correcta, tanto en las redes planas como en las tridimensionales. Este ejercicio facilita la comprensión de la simetría de las estructuras cristalinas y de los 230 Grupos Espaciales.



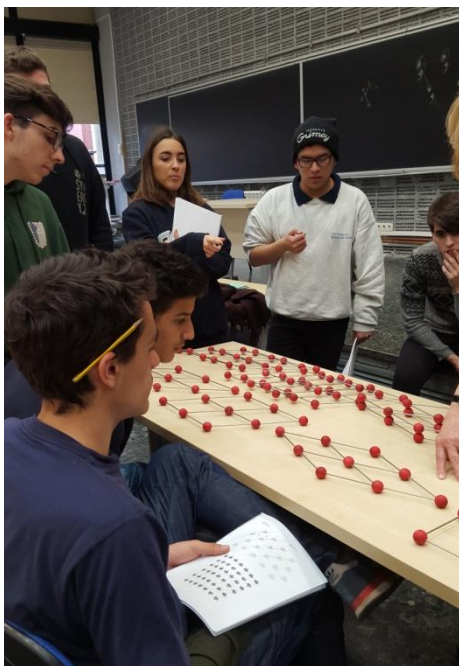
*En las sesiones de prácticas los alumnos construyen ellos mismos las redes tridimensionales, sitúan sus elementos de simetría, evalúan las posibilidades de centrado para construir las redes de Bravais que no son primitivas (siete de las catorce) y finalmente visualizan su proyección sobre diferentes planos (Dpto. de Cristalografía. Alumnos de 1º de Grado en Geología).*



Construcción de redes múltiples. Izquierda.- Red tetragonal centrada en el interior (I). Derecha.- Red rectangular centrada en todas las caras (F).



Visualización de las proyecciones sobre los planos (001). Izquierda.- Red tetragonal centrada en el interior (I). Derecha.- Red rectangular centrada en dos caras (tipo A).



Alumnos de la asignatura "Geología para Químicos" de primero de Grado en Químicas, en una sesión de prácticas trabajando con los modelos de redes de Bravais diseñados.

