

El origami modular como una herramienta didáctica para identificar los sistemas cristalinos y planos de deslizamiento en cristales



Mariana Valdez-Vázquez, Antonio Salas-Reyes, Jaime García-Robledo

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04510, México.

E-mail: mariana.valdez.mvv@gmail.com

(Recibido el 3 de octubre de 2021, aceptado el 15 de diciembre de 2021)

Resumen

La cristalografía es la rama de la ciencia que estudia la estructura de los materiales y como se acomodan los átomos dentro de un sistema cristalino. Estos sistemas cristalinos son: cúbico, tetragonal, ortorrómbico, hexagonal, trigonal, monoclinico y triclínico. Para facilitar el aprendizaje de estos sistemas cristalinos y como se desplazan los átomos en diferentes direcciones cristalinas se utilizó origami modular. Al utilizar el origami modular se generan modelos tridimensionales. Los alumnos desarrollan habilidades a través de los canales de aprendizaje como son el kinestésico y el visual, adquieren la capacidad de reconocer con facilidad los sistemas cristalinos que serán de utilidad para las carreras relacionadas con las ciencias de materiales.

Palabras clave: Sistemas cristalinos, origami, modelo didáctico.

Abstract

Crystallography is the branch of science that studies the structure of materials and how atoms are arranged within a crystalline system. These crystal systems are: cubic, tetragonal, orthorhombic, hexagonal, trigonal, monoclinic and triclinic. Modular origami was used to facilitate learning about these crystal systems and how atoms move in different crystal directions. By using modular origami, three-dimensional models are generated. Students develop skills through learning channels such as kinesthetic and visual, they acquire the ability to easily recognize crystalline systems that will be useful for careers related to materials science.

Keywords: Crystal systems, origami, didactic model.

I. INTRODUCCIÓN

La cristalografía es capaz de descifrar la estructura de la materia de que están formados los cristales, de ella se tienen aportaciones sobre la clasificación y el análisis de las diferentes redes tridimensionales existentes. Además, al conocer la estructura interna de la materia se averigua las posiciones de todos sus átomos y determinar el modo en que están unidos o podrían desplazarse. El comprender la estructura de los materiales es parte integral del cualquier alumno que estudie ciencias de materiales a nivel licenciatura.

Los modelos tridimensionales y tangibles se han empleado ampliamente en la química [1].

Para los compuestos moleculares el modelo tridimensional proporciona información de composición, configuración y reactividad, además se ha utilizado con éxito tanto para especies químicas pequeñas, como para complejos macromoleculares biológicos [2].

En el caso de compuestos iónicos o metálicos se obtiene una gran comprensión de las propiedades físicas y químicas de los materiales en estado sólido. Los materiales metálicos y cerámicos presentan estructuras cristalinas bien definidas

las cuales se pueden agrupar en 7 sistemas cristalinos, las propiedades mecánicas de estos materiales se pueden entender identificando la red cristalina y así el desplazamiento de los planos cuando ocurre una deformación.

La estructura de los materiales cristalinos presenta una unidad básica conocida como celda unitaria. Esta celda se repite en todas las direcciones de la red tridimensional.

La celda unitaria, por su estructura geométrica, se describe utilizando tres ejes que proporcionan información de los parámetros de la red cristalina. Los ejes son conocidos como ejes cristalinos o vectores base x , y y z , para su identificación, se utilizan las letras a , b y c , otros parámetros que definen la celda unitaria son los ángulos formados por los ejes, que se identifican con las letras griegas α , β y γ . Las redes de Bravais nos dicen con claridad todas las simetrías posibles de las redes tridimensionales, son 14 celdas elementales [3, 4]

Por ello emplear una actividad en la que se pueda manipular módulos de origami para formar los diferentes sistemas cristalinos que se presentan en la materia es una buena estrategia lúdica para comprender los conceptos de

Valdez Mariana, Salas-Reyes Antonio, García-Robledo Jaime sistemas cristalinos, posición atómica, planos cristalinos y planos de deslizamiento.

A continuación, se muestran los sistemas cristalinos y las redes de Bravais que cada una puede tener:

SISTEMA CRISTALINO CÚBICO

También se le conoce como isométrico y se caracteriza por tener tres ejes cristalográficos perpendiculares entre sí y por la igualdad de los parámetros destacados en ellos. Tiene forma cristalina de cubo, 3 ángulos rectos y 3 aristas de la celda iguales. Posee tres ejes de simetría cuaternarios y 4 ejes de simetría ternarios.

Tipos: Simple, centrado, centrado en las caras.

TABLA I. Constantes cristalográficas del sistema cristalino cúbico:

Ejes	Ángulos
$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

SISTEMA CRISTALINO TETRAGONAL

Este sistema pertenece al grupo dimétrico. Esta caracterizado por presentar tres ejes que son perpendiculares entre sí, dos de ellos tienen la misma longitud y están en un mismo plano, el tercero (eje principal) es más largo o más corto. Lo que lo distingue de los otros sistemas cristalinos es que posee un eje de simetría cuaternario (posiciones equivalentes, una cada 90°) o binario derivado. El sistema tetragonal es similar al hexagonal, del que se diferencia por el menor número de caras en las formas simples, determinado por la presencia de un eje cuaternario en vez de senario, agrupa 7 clases de simetría.

Tipos: Simple y centrado.

TABLA II. Constantes cristalográficas del sistema cristalino tetragonal:

Ejes	Ángulos
$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

SISTEMA CRISTALINO ORTORRÓMBICO

Es uno de los tres sistemas del grupo trimétrico. Se caracteriza por que la celda unidad de la red cristalina tiene la forma geométrica con los tres ángulos rectos, mientras que las otras tres aristas tienen longitudes diferentes. Los tres vectores que definen las celdas son ortogonales. Posee tres ejes binarios o tres planos de simetría.

Tipos: Ortorrómbico simple, centrado, con bases centradas y con caras centradas.

El sistema tiene 3 clases de simetría.

TABLA III. Constantes cristalográficas del sistema cristalino ortorrómbico:

Ejes	Ángulos
$a \neq b \neq c$	$\beta \neq \alpha = \gamma = 90^\circ; \beta > 90^\circ$

$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
-------------------	--------------------------------------

SISTEMA CRISTALINO HEXAGONAL

Pertenece al grupo dimétrico. Se caracteriza por tener un eje senario (6 posiciones sobre 360°) o un ternario derivado. Su forma simple principal es el prisma hexagonal compuesto por seis caras equivalentes y paralelas al eje senario principal. Tiene dos ejes iguales y uno desigual. El sistema hexagonal comprende cinco clases de simetría.

TABLA IV. Constantes cristalográficas del sistema cristalino hexagonal:

Ejes	Ángulos
$a = a' = a'' \neq c$	$\alpha = \alpha' = \alpha'' = 120^\circ; \beta = 90^\circ$

SISTEMA CRISTALINO TRIGONAL

Llamado también romboédrico, pero hay que tomar en cuenta que todos los cristales romboédricos son trigonales y no todos los cristales trigonales son romboédricos. Pertenece al grupo dimétrico.

Algunos no lo consideran un sistema cristalino, sino una variante del sistema cristalino hexagonal.

Tiene un eje único de simetría ternario, con tres posiciones equivalentes posibles. Tiene tres ángulos distintos del ángulo recto, mientras que las tres aristas son iguales.

Se distingue del sistema hexagonal por ser su forma simple el romboedro, una especie de cubo aplastado y deformado, que presenta seis caras en forma de rombo.

Tipos: Trigonal romboédrico.

El sistema trigonal comprende de 7 clases de simetría.

TABLA V. Constantes cristalográficas del sistema cristalino trigonal:

Ejes	Ángulos
$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$

SISTEMA CRISTALINO MONOCLÍNICO

Este sistema pertenece al grupo trimétrico, está caracterizado por tener un eje binario, un plano perpendicular a este y un centro de inversión. Tiene la ausencia de un elemento de simetría común. Un eje binario o un plano de simetría.

Tipos: Monoclínico Simple y Centrado.

TABLA VI. Constantes cristalográficas del sistema cristalino monoclínico:

Ejes	Ángulos
$a \neq b \neq c$	$\beta \neq \alpha = \gamma = 90^\circ; \beta > 90^\circ$

SISTEMA CRISTALINO TRICLÍNICO.

Este sistema pertenece al grupo trimétrico. Se caracteriza por tener tres vectores bases. Un centro de simetría o bien ninguna simetría.

Comprende de 2 clases de simetría; la pinacoidal, que posee únicamente un centro de simetría y la pedial, que no posee elemento de simetría alguno.

El cristal esta descrito por vectores de longitud desigual, y además ninguno de ellos son ortogonales con algún otro.

TABLA VII. Constantes Cristalográficas del sistema cristalino triclinico:

Ejes	Ángulos
$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

II. METODOLOGÍA

El origami modular se ha usado para visualizar fullerenos y nanotubos. Esta es una gran herramienta para poder observar la estructura en tres dimensiones y visualizarla fácilmente y poder identificar algunas propiedades como la conductividad [5]. De una manera más básica empleamos el origami modular para construir los sistemas cristalinos, así como los planos de deslizamiento del cubo y el hexaedro.

Para esto se emplearon diferentes módulos para la construcción de los sistemas cristalinos, cada unidad fue hecha de diferente color y diferente tamaño de acuerdo a los acomodos explicados anteriormente, es decir si $a=b=c$ entonces serán del mismo color, mientras que si $a=b \neq c$ entonces c será de diferente color las unidades básicas fueron las siguientes y se utilizaron los siguientes videos (https://www.youtube.com/watch?v=vlcqbV2L_dM&t=429s y <https://www.youtube.com/watch?v=iG-N3F2X0iM&t=233s>):

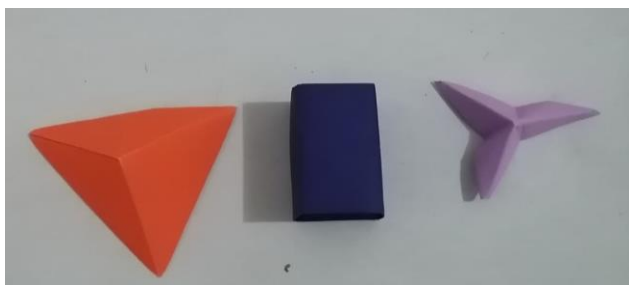


FIGURA 1. a) Vértice de los sistemas cristalinos de 90°, b) arista de los sistemas cristalino, c) vértice de los sistemas cristalinos con ángulos diferentes a 90°.

Sistema cristalino cúbico: se utilizaron 12 módulos del mismo tamaño, de color azul oscuro de las mismas dimensiones para las aristas(b) y 8 módulos de color azul claro para los vértices, debido a que los ángulos en el sistema son iguales a 90° se utilizaron los vértices (a).

Sistema cristalino tetragonal: se utilizaron 8 módulos de tamaño de 10 cm de color rosa para las aristas de los ejes a y b, 4 módulos de tamaño de 15 cm, de color naranja para las aristas del eje c y 8 módulos de color rosa anaranjado para los vértices, debido a que los ángulos en el sistema son iguales a 90° se utilizaron los vértices (a).

Sistema cristalino hexagonal: se utilizaron 12 módulos de color morado para las aristas y crear ángulos de 120° con los vértices (c) para los ejes a y b, para el eje c se juntaron las dos bases para obtener el ángulo de 90°.

Sistema cristalino romboédrico: se utilizaron 12 módulos del mismo tamaño, de color amarillo de las mismas dimensiones para las aristas (b) y 8 módulos de color naranja para los vértices (c).

Sistema cristalino ortorrómbico: se utilizaron 4 módulos de color verde limón, de tamaño de 8 cm para las aristas (b) del eje a, 4 módulos de color rojo, de tamaño de 10 cm para las aristas (b) del eje b, 4 módulos de color verde oscuro, de tamaño de 15 cm para las aristas (b) del eje c, debido a que los ángulos en el sistema son iguales a 90° se utilizaron los vértices (a).

Sistema cristalino monoclinico: se utilizaron 4 módulos de color rosa, de tamaño de 8 cm para las aristas (b) del eje a, 4 módulos de color naranja, de tamaño de 10 cm para las aristas (b) del eje b, 4 módulos de color verde oscuro, de tamaño de 15 cm para las aristas (b) del eje c, debido a que 2 ángulos son iguales a 90° se utilizaron los módulos para vértices (a) con una modificación en el ángulo β , al doblar el interior de un lado.




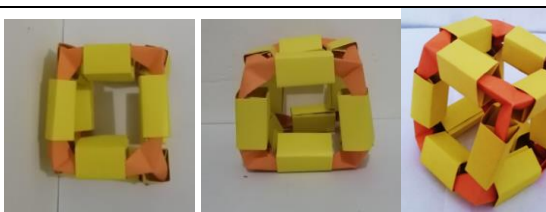
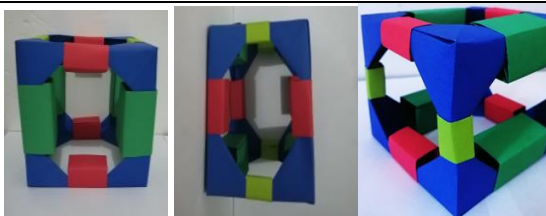
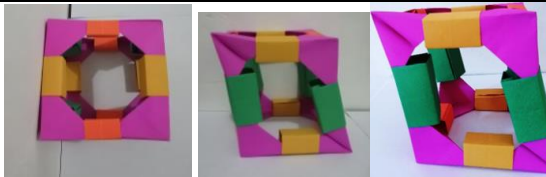

Sistema cristalino triclinico: se utilizaron 4 módulos de color verde, de tamaño de 8 cm para las aristas (b) del eje a, 4 módulos de color morado, de tamaño de 10 cm para las aristas (b) del eje b, 4 módulos de color azul oscuro, de tamaño de 15 cm para las aristas (b) del eje c, debido a que los ángulos son diferentes a 90° se utilizaron 8 módulos color morado claro para los vértices (c).

IV. DISCUSIÓN

Esta técnica permite la visualización de la red primitiva para cada uno de los sistemas cristalinos, así como ángulos y planos principales de cada sistema. También es posible observar planos de deslizamientos involucrados en la deformación plástica de metales y cerámicos, el conformado plástico de los metales es un proceso por el cual pasan algunos materiales y depende de la capacidad de deformación, en estos procesos se provoca una gran alteración de la estructura del metal, lo que influye en sus propiedades.

III. RESULTADOS

Tabla IX. Se presentan los modelos de origami para los sistemas cristalinos.

<p>Cúbico</p>	
<p>Tetragonal</p>	
<p>Hexagonal</p>	
<p>Romboédrica</p>	
<p>Ortorrómbico</p>	
<p>Monoclínico</p>	
<p>Triclínico</p>	

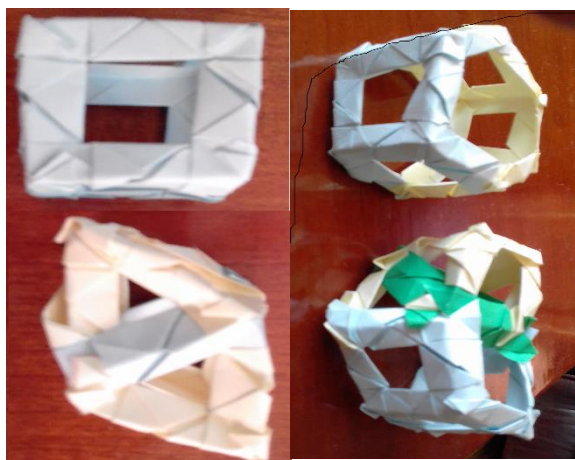


FIGURA 2. Cubo identificando plano de deslizamiento (111) y hexágono mostrando plano de maclado. Y hexágono identificando plano de maclado.

Esto permite a los estudiantes activar los canales de aprendizaje visual y kinestésico para comprender los diferentes conceptos involucrados en la cristalografía como son ejes de rotación planos principales, posiciones atómicas etc. Lo cual los ayuda a comprender el complejo campo de la cristalografía en la ciencia de materiales.

V. CONCLUSIONES

El origami sirve como apoyo visual para enseñar a los estudiantes los conceptos básicos de la cristalografía como los sistemas cristalinos, así el alumno podrá recordar fácilmente las características de cada uno de los 7 sistemas cristalinos.

REFERENCIAS

- [1] Alkorta, I. <<http://are.iqm.csic.es/index.php/chemistry-and-origami-quimica-y-papiroflexia>>, consultado el 12 de febrero 2021.
- [2] Scalfani, V. and Vaid, T., *3D Printed Molecules and Extended Solid Models for Teaching Symmetry and Point Groups*, J. Chem. Educ. **91**, 1174–1180 (2014).
- [3] Bruno, I. *et al.*, *Crystallography and Databases*. Data Science Journal **16**, 1–1 (2017).
- [4] Authier, E. A., *Early Days of X-Ray Crystallography* (Illustrated ed.) (Oxford University Press, USA. 2013).
- [5] García, J. and Balmori, H. *Modelo de papiroflexia para visualizar la estructura del C60 y la quiralidad de nanotubos de carbono así como algunas propiedades*. Chem. Educator, **14**, 221–224 (2009).