



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



International  
Union of  
Crystallography



Partners for the International Year of Crystallography 2014

# ¡La cristalografía sí importa!



Año Internacional de la Cristalografía 2014





Publicado por la United Nations Educational,  
Scientific and Cultural Organization  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, Francia

© UNESCO 2013  
Todos los derechos reservados

Título original: Crystallography matters!

Coordinador/Editor: Susan Schneegans

Fotos de portada: Avión © Shutterstock/IM\_photo; Científicos en África © FAO  
Foto de contratapa: Familia joven mirando la televisión ©Shutterstock/Andrey\_Popov

Compaginado e impreso  
en los talleres de UNESCO

La impresión es certificada Imprim'Vert\*,  
por la iniciativa ambiental de la industria de impresión francesa

Impreso en Francia

SC-2013/WS/9  
CLD 1251.13

# ¿Qué es la cristalografía?

Los cristales se pueden encontrar por todas partes en la naturaleza. Son especialmente abundantes en las formaciones rocosas como los minerales (piedras preciosas, grafito, etc.), pero también se pueden encontrar en otros lugares, teniendo como ejemplos: los copos de nieve, el hielo y los granos de sal. Desde la antigüedad, los estudiosos se han intrigado por la belleza de los cristales, su forma simétrica y su variedad de colores. Estos primeros cristalógrafos utilizaban la geometría para estudiar la forma de los cristales en el mundo natural.

A principios del siglo XX, se descubrió que los rayos X podían ser utilizados para "ver" la estructura de la materia de una manera no destructiva. Esto marca el comienzo de la cristalografía moderna. Los rayos X fueron descubiertos en 1895. Son haces de luz que no son visibles para el ojo humano. Cuando los rayos X impactan sobre un objeto, los átomos del objeto dispersan los rayos. Los cristalógrafos descubrieron que los cristales, debido a la disposición regular de sus átomos, dispersan los rayos solo en algunas direcciones específicas.

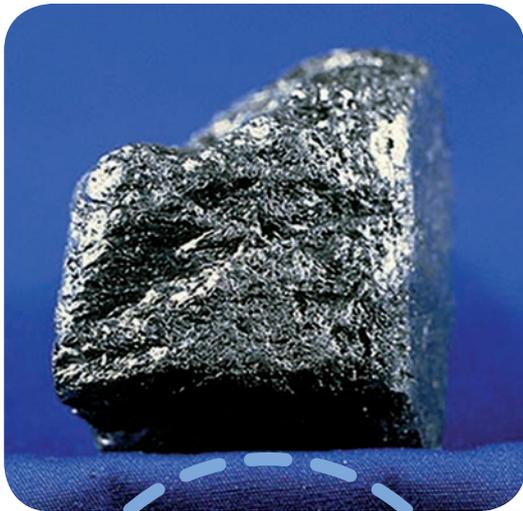
Mediante la determinación de estas direcciones y de la intensidad de los haces dispersados, los científicos fueron capaces de producir una imagen tridimensional de la estructura atómica del cristal. Los cristales son materiales ideales para el estudio de la estructura de la materia a nivel atómico o molecular, debido a tres características principales: son sólidos, son tridimensionales y están contruidos a partir de un arreglo de átomos muy regular y en general altamente simétrico.

Gracias a la cristalografía de rayos X, los científicos pueden estudiar los enlaces químicos que unen un átomo a otro. Analizando al grafito y al diamante, por ejemplo, puede apreciarse que estos minerales apenas se parecen: uno es opaco y blando (el grafito constituye el corazón de los lápices), mientras que el otro es transparente y duro. Sin embargo, el grafito y el diamante son parientes cercanos, químicamente hablando, ambos están compuestos de átomos de carbono. La capacidad de dispersar la luz, debido a la estructura de sus enlaces químicos, es la responsable del "brillo" del diamante. Esto lo sabemos gracias a la cristalografía de rayos X.

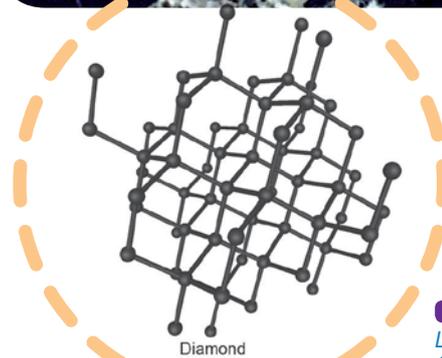
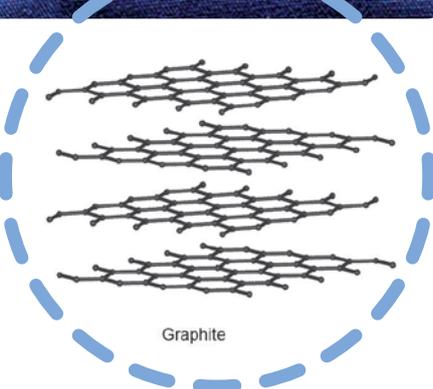
Al principio, la cristalografía de rayos X sólo podía estudiar cristales sólidos con una disposición regular de los átomos. Se podían estudiar, por ejemplo, minerales y muchos otros compuestos, tales como la sal o el azúcar. También se podía estudiar el hielo, pero sólo hasta antes de derretirse.



Los copos de nieve son cristales. Su simetría hexagonal resulta de la forma en que las moléculas de agua se unen entre sí. Imagen: Wikipedia



Un trozo de grafito (izquierda) y un diamante en bruto (derecha). Estos dos cristales se ven diferentes, pero están estrechamente relacionados, ya que ambos son carbono puro. Lo que le da al diamante su brillo es su capacidad para dispersar la luz, debido a la disposición de sus enlaces químicos. Fotos: Wikipedia



La estructura cristalina del grafito (izquierda) es muy diferente a la del diamante. © IUCr

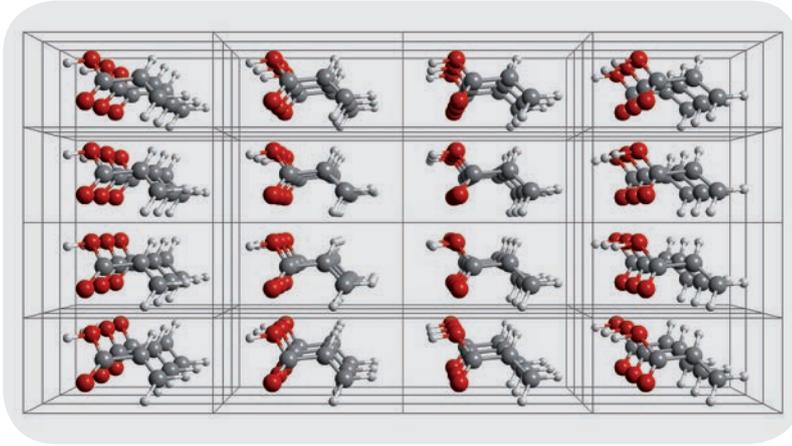


Imagen tridimensional de una estructura cristalina. En un cristal, los átomos, grupos de átomos, iones o moléculas tienen una disposición regular en tres dimensiones. © IUCr

materiales. Ella está ahora en el centro de los avances en muchos campos de la ciencia. Nuevos métodos cristalográficos están aún siendo introducidos y nuevas fuentes (de electrones, neutrones y de radiación sincrotrónica) están disponibles. Estos desarrollos permiten a los cristalógrafos estudiar la estructura atómica de objetos que no son cristales perfectos, incluyendo los cuasicristales (véase abajo) y los cristales líquidos (ver foto de la televisión en una página posterior).

El desarrollo de máquinas capaces de generar luz y rayos X intensos (sincrotrones) ha revolucionado la cristalografía. Grandes instalaciones de investigación que alojan sincrotrones son utilizadas por cristalógrafos que trabajan en áreas como biología, química, ciencia de materiales, física, arqueología y geología. Los sincrotrones permiten a los arqueólogos identificar la composición y la edad de artefactos que datan de decenas de miles de años, por ejemplo, y a los geólogos analizar y datar meteoritos y rocas lunares.

Esto es debido a que, en un líquido, el movimiento de las moléculas hace imposible registrar una señal dispersada que pueda ser interpretada. Los cristalógrafos descubrieron que podían estudiar los materiales biológicos, como las proteínas o el ADN, obteniendo cristales con ellos. Esto ha ampliado el campo de la cristalografía a la biología y la medicina. El descubrimiento se produjo en un momento en que el creciente poder de las computadoras hizo posible modelar la estructura de estos cristales más complejos.

Después de 100 años de desarrollo la cristalografía de rayos X se ha convertido en la técnica líder para el estudio de la estructura atómica y propiedades relacionadas de los

## LOS CUASICRISTALES: DESAFIANDO LAS LEYES DE LA NATURALEZA

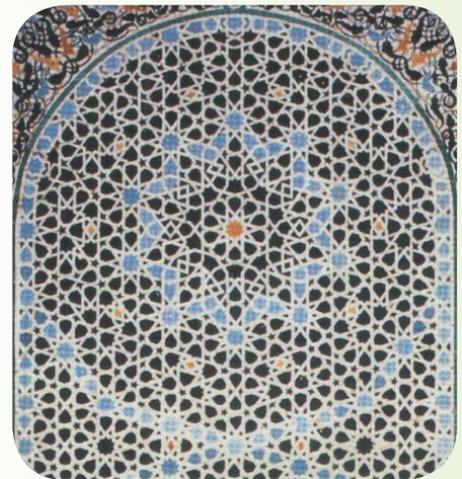
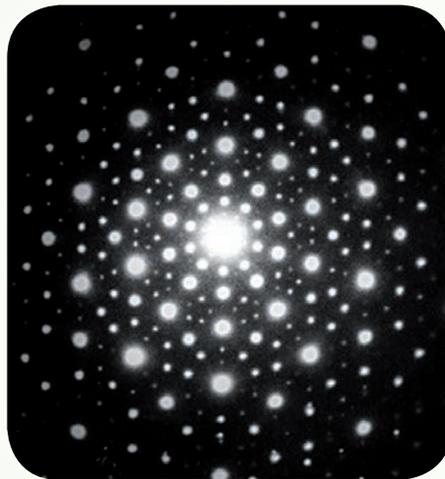
En 1984, Dan Shechtman descubrió la existencia de un cristal en el que los átomos se ensamblaron en un modelo que no podría ser estrictamente repetido. Esto desafió los conocimientos aceptados acerca de la simetría de los cristales. Hasta ese momento se pensaba que sólo formas geométricas simétricas con 1, 2, 3, 4 o 6 lados podían producirse en forma de cristales, ya que sólo estas formas podían ser reproducidas en tres dimensiones.

Sin embargo, cuando Dan Shechtman observó una aleación de aluminio y manganeso en un microscopio electrónico, descubrió un pentágono (forma de cinco lados). Este "imposible" llegó a ser conocido como un cuasicristal. El revolucionario descubrimiento de Dan Shechtman le valdría ganar el Premio Nobel de Química en 2011.

Como consecuencia de la forma en que están dispuestos sus átomos, los cuasicristales tienen propiedades inusuales: son duros y quebradizos y se comportan casi como el vidrio, siendo resistentes a la corrosión y la adhesión.

Actualmente se usan en un número de aplicaciones industriales, siendo un ejemplo las sartenes antiadherentes.

Los artesanos marroquíes (Maalems) han conocido los patrones encontrados en los cuasicristales durante siglos. Setecientos años separan las dos imágenes de arriba. La imagen de la izquierda muestra el patrón de difracción de un cuasicristal obtenido por Dan Shechtman en 1984. La foto de la derecha muestra un mosaico fino (zellige) en el Attarine Madrasa en Fez (Marruecos), que data del Siglo XIV. Las imágenes tienen un aspecto muy similar, con ambos mostrando patrones pentagonales.



Fuente: Imagen del patrón de difracción, *Physical Review Letters* (1984), vol. 53, páginas 1951-1953; imagen del mosaico, Asociación Marroquí de Cristalografía.

# Una breve historia

A lo largo de la historia, la gente se ha fascinado por la belleza y el misterio de los cristales. Hace dos mil años el naturalista romano Plinio el Viejo admiró "la regularidad de los prismas de seis caras de cristales de roca". Para esa época los procesos de cristalización de azúcar y sal ya eran conocidos por las antiguas civilizaciones de India y China: los cristales de azúcar de caña se fabricaban a partir de jugo de caña de azúcar en la India, y en China, la salmuera se hervía para obtener sal pura. La cristalización también se desarrolló en Irak en el siglo VIII DC. Doscientos años más tarde, en Egipto y la región de Andalucía en España, dominarían la técnica de corte de cristales de minerales para su uso en utensilios y objetos de decoración como la caja de gemas que se muestra aquí. En 1611 el matemático y astrónomo alemán Johannes Kepler fue el primero en observar la forma simétrica de los copos de nieve y deducir a partir de ella su estructura interna. Menos de 200 años después, el mineralogista francés René Just Haüy descubriría la ley geométrica de la cristalización.

En 1895, los rayos X fueron descubiertos por Wilhelm Conrad Röntgen, razón por la cual fue galardonado con el primer Premio Nobel de Física en 1901. Sin embargo fue Max von Laue y sus compañeros de trabajo quienes descubrieron que los rayos X, cuando pasan a través de un cristal, interactúan con el mismo y como resultado, se difractan en direcciones específicas, dependiendo de la naturaleza del cristal. Este descubrimiento le valió a von Laue el Premio Nobel de Física en 1914.

Igualmente importante fue el descubrimiento por parte del equipo de padre e hijo: William Henry Bragg y William Lawrence Bragg, que en 1913 mostraron que los rayos X podrían ser utilizados para determinar con precisión las posiciones de los átomos dentro de un cristal y desentrañar su estructura tridimensional. Conocida como la ley de Bragg, este descubrimiento ha contribuido en gran medida al desarrollo moderno de todas las ciencias naturales, ya que la estructura atómica gobierna las propiedades químicas y biológicas de la materia y la estructura cristalina gobierna la mayoría de las propiedades físicas de la materia. El dúo de los Bragg fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1915.

Entre las décadas de 1920 y 1960 la cristalografía de rayos X ayudó a revelar algunos de los misterios de la estructura de la vida, con grandes implicaciones para el cuidado de la salud. Dorothy Hodgkin resolvió las estructuras de una serie de moléculas biológicas, incluyendo el colesterol (1937), la penicilina (1946), la vitamina B12 (1956) y la insulina (1969). Fue galardonada con el Premio Nobel de Química en 1964. Sir John Kendrew y Max Perutz fueron los primeros en resolver la estructura cristalina de una proteína, por lo cual recibieron el Premio Nobel de Química en 1962. Desde ese avance, la estructura cristalina de más de 90.000 proteínas, ácidos nucleicos y otras moléculas biológicas se han determinado mediante cristalografía de rayos X.

Uno de los mayores hitos del siglo XX fue el descubrimiento de la estructura cristalina de ADN por James Watson y Francis Crick. Tal vez menos conocido es el hecho de que su descubrimiento fue realizado sobre la base de experimentos de difracción realizados por Rosalind Franklin, quien murió prematuramente en 1958. El descubrimiento de la "doble hélice" allanó el camino para la cristalografía de macromoléculas y proteínas, herramientas esenciales de las ciencias biológicas y médicas en la actualidad. Watson y Crick fueron premiados con el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1962, junto con Maurice Wilkins, quién había trabajado con Rosalind Franklin.

La cristalografía y los métodos cristalográficos han continuado desarrollándose durante los últimos 50 años; en 1985, por ejemplo, el Premio Nobel de Química fue otorgado a Herb Hauptman y Jerome Karle por el desarrollo de nuevos métodos de análisis de estructuras cristalinas. Como resultado de esto, estructuras cristalinas de más y más compuestos han sido resueltas.

Recientemente se han concedido premios Nobel a Venkatraman Ramakrishnan, Thomas Steitz y Ada Yonath (2009, ver página 8), a Andre Geim y Konstantin Novoselov (2010) por su trabajo pionero en el grafeno, el primero de una nueva clase de materiales cristalinos bidimensionales con propiedades electrónicas y mecánicas únicas, a Dan Shechtman (2011) por el descubrimiento de los cuasicristales (ver cuadro en la página opuesta) y a Robert Lefkowitz y Brian Kobilka (2012) por revelar el funcionamiento interno de una importante familia de receptores de las células que regulan casi todas las funciones del cuerpo humano.



Una caja con incrustaciones de gemas realizada en Egipto alrededor de 1200 DC. © Musée de Cluny, Francia

En total, 45 científicos han sido galardonados con el premio Nobel durante el pasado siglo por trabajos que están directa o indirectamente relacionados con la cristalografía. No hay suficiente espacio para listarlos a todos en este folleto, pero es gracias a sus contribuciones individuales que la cristalografía se ha transformado en la base de sustentación de todas las ciencias. Hoy en día la cristalografía se mantiene como un campo fértil para investigaciones fundamentales novedosas y prometedoras.

## ¿Por qué los países necesitan invertir en cristalografía?

La cristalografía apunala el desarrollo de prácticamente todos los **nuevos materiales**, desde productos de uso diario como tarjetas de memoria de computadoras a pantallas planas de televisores, autos y componentes de aviones. Los cristalógrafos no solo estudian la estructura de los materiales, sino también pueden usar ese conocimiento para modificar una estructura para darle nuevas propiedades o hacer que se comporte de otra forma. El cristalógrafo también puede establecer la "huella digital" de un nuevo material. Una compañía puede, luego, utilizar esa "huella digital" para probar que la nueva sustancia es única al solicitar una patente.

De hecho, la cristalografía tiene muchas aplicaciones. Está presente en nuestra vida cotidiana y forma la columna vertebral de industrias que dependen cada vez más de la creación de conocimiento para desarrollar nuevos productos, incluyendo las industrias agro-alimentaria, aeronáutica, automotriz, cosmética, de computadoras, electromecánica, farmacéutica y minera. Los siguientes son unos pocos ejemplos.

La **mineralogía** es probablemente la rama más antigua de la cristalografía. La cristalografía de rayos X ha sido el método principal de determinación de estructuras atómicas de minerales y metales desde la década de 1920. Virtualmente todo lo que sabemos acerca de las rocas, formaciones geológicas y la historia de La Tierra está basado en la cristalografía. Incluso nuestro conocimiento de "visitantes cósmicos" como los meteoritos, viene de la cristalografía. Este conocimiento es obviamente esencial para la minería y cualquier industria que perfora en La Tierra, como las del agua, gas y geotérmica.

El **diseño de fármacos** depende fuertemente del uso de la cristalografía. Una compañía farmacéutica que busca una nueva droga para combatir una bacteria o virus específicos primero debe encontrar una pequeña molécula capaz de bloquear las proteínas activas (enzimas) que están involucradas en el ataque a las células humanas. El conocimiento de la forma precisa de la proteína permite a los científicos diseñar compuestos activos que pueden unirse al sitio "activo" de la proteína y de esa manera deshabilitar su actividad dañina.

La cristalografía también es esencial para distinguir entre formas sólidas de drogas, ya que estas pueden ser solubles en condiciones diferentes, afectando la eficacia de la droga. Esto es importante para la industria farmacéutica de genéricos, especialmente en Asia y África, donde drogas anti-VIH están siendo manufacturadas bajo "licencia obligatoria" para hacerlas accesibles a los más pobres.

*Nuevos materiales están siendo utilizados para desarrollar ropas inteligentes. Los tejidos inteligentes dejan entrar el aire y atrapan el calor, en función de si quien la usa está transpirando o tiritando. Las prendas interiores pueden estar equipadas con sensores para monitorear, por ejemplo, la temperatura o el ritmo respiratorio o cardíaco y transmitir el mensaje al teléfono celular del usuario. Las piezas de ropa exterior pueden ser diseñadas para detectar niveles nocivos de gases tóxicos, bacterias o calor extremo. Los cristalógrafos pueden identificar las propiedades necesarias para desarrollar estos nuevos materiales. © Sharee Basinger/publicdomainpictures.net*

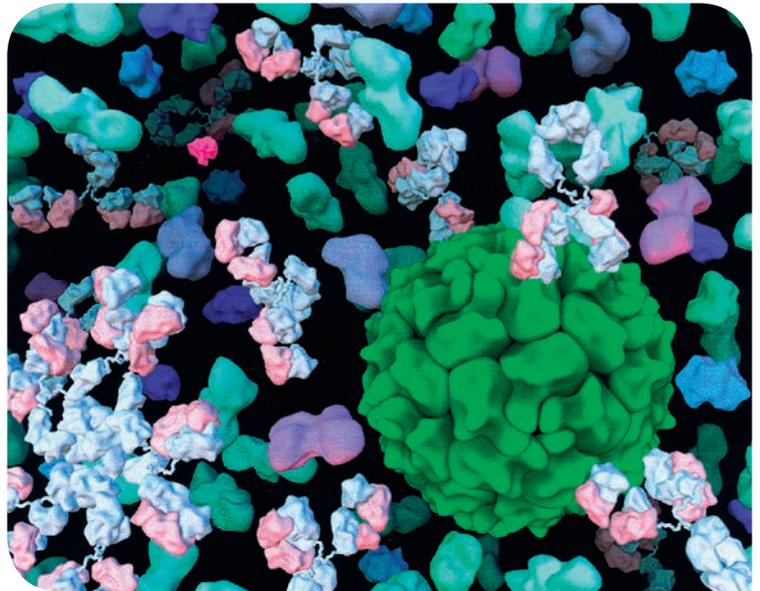


*Hoy los cristalógrafos pueden estudiar una gran variedad de materiales, incluyendo cristales líquidos. Los visores de cristal líquido se utilizan en pantallas planas de televisores (foto), computadoras, teléfonos móviles, relojes digitales y más. El cristal líquido no produce luz por sí mismo pero la toma de una fuente exterior – como la luz de fondo en un televisor– para formar imágenes, con bajo consumo de energía. © Shutterstock/Andrew\_Popov*



La manteca de cacao, el ingrediente más importante del chocolate, cristaliza en seis formas diferentes, pero solo una de ellas se funde agradablemente en la boca, y tiene la superficie brillante y la dureza crujiente que lo hace tan sabroso. Esta forma cristalina "sabrosa", sin embargo, no es muy estable, por lo que tiende a convertirse en otra más estable, que es opaca, tiene una textura blanda y se funde lentamente en la boca, produciendo una sensación gruesa y arenosa en la lengua. Por fortuna, la conversión es lenta, pero si el chocolate es almacenado por periodos de tiempo prolongados a temperaturas templadas, puede formar un "floreamiento", un residuo superficial blanco que resulta de la recristalización. Los fabricantes de chocolate deben utilizar un sofisticado proceso de cristalización para obtener la forma cristalina más deseable, la única aceptada por expertos y consumidores. Foto: Wikipedia

¡El vehículo todo-terreno "Curiosity" utilizó la cristalografía de rayos X, en octubre de 2012, para analizar muestras de suelo del planeta Marte! La NASA equipó al vehículo con un difractómetro. Los resultados sugirieron que la muestra de suelo marciano era similar a los suelos basálticos meteorizados de los volcanes hawaianos. Foto: NASA



Anticuerpos unidos a un virus. La cristalografía es usada para controlar la calidad de drogas procesadas, incluyendo drogas antivirales, en la etapa de producción masiva, para asegurar que las estrictas normas de salud y seguridad se cumplen. © IUCr





# Desafíos para el futuro

En el año 2000, los gobiernos del mundo adoptaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas, que proponían como objetivos específicos para el año 2015 reducir la pobreza y hambre extremas, mejorar el acceso al agua potable y al saneamiento seguro, disminuir la mortalidad infantil y mejorar la salud maternal, entre otros desafíos.

Los gobiernos se encuentran actualmente preparando un nuevo conjunto de objetivos que determinarán la agenda de desarrollo para el período post-2015. Los siguientes son algunos ejemplos de cómo la cristalografía colaborará para avanzar en esta agenda.

## Desafíos alimentarios

Se espera que la población mundial crezca de 7000 millones en 2011 a 9100 millones para el año 2050. La combinación de un rápido crecimiento poblacional y una dieta más dependiente en carne y productos lácteos respecto al pasado incrementará la demanda de comida en un 70% para 2050. Esto representa un gran desafío para la agricultura.

*Técnicas cristalográficas de última generación están dirigiendo la investigación en los sectores agrícolas y alimentarios. Por ejemplo, la cristalografía puede usarse para analizar suelos. Una seria causa de deterioro de los suelos es la salinización, que puede ocurrir naturalmente o ser inducida por las actividades humanas.*

*Estudios estructurales en proteínas de plantas pueden ayudar a desarrollar cultivos que sean más resistentes a los ambientes salinos.*

*La cristalografía también contribuye al desarrollo de curas para enfermedades de plantas y animales, siendo un ejemplo la investigación en cáncer en especies como tomates, o el desarrollo de vacunas para prevenir enfermedades como las gripes aviar y porcina.*

*Además, estudios cristalográficos de bacterias son importantes para la producción de productos alimenticios derivados de leche, queso, vegetales y otras plantas.*

## Desafíos sobre el agua

Aunque el mundo recientemente llegó al Objetivo de Desarrollo del Milenio de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso al agua potable para 2015, el África subsahariana y las regiones árabes están atrasadas respecto a esta meta, de acuerdo al Informe sobre el Desarrollo Mundial del Agua (2012) producido por las Naciones Unidas. El mismo objetivo por saneamiento básico actualmente parece fuera de alcance, ya que la mitad de la población en regiones en desarrollo todavía carece de acceso al mismo. Además, se estima que el número de personas en ciudades que carecen de acceso a un suministro de agua potable y saneamiento básico ha crecido en un 20% desde que se establecieron los Objetivos de Desarrollo del Milenio en el año 2000. Se pronostica que la población urbana prácticamente se duplicará de 3400 millones en 2009 a 6300 millones en 2050.

*La cristalografía puede ayudar a mejorar la calidad del agua en comunidades pobres, por ejemplo, identificando nuevos materiales que puedan purificar el agua por meses, como nanoesponjas (filtros para grifos) y nanotabletas. También puede ayudar a desarrollar soluciones ecológicas para mejorar el saneamiento.*

## Desafíos energéticos

Aunque la energía está ausente de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, debería ser un punto clave para la agenda de desarrollo post-2015. En septiembre de 2011, el Secretario General de las Naciones Unidas lanzó la iniciativa Energía Sustentable para Todos. Esta iniciativa llega en un momento de creciente preocupación sobre el impacto de las economías fuertemente dependientes de combustibles fósiles en el clima de la Tierra y el reconocimiento de la necesidad de acelerar la transición a fuentes de energía sustentables. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aumentaron en 5% a 30,6 gigatoneladas (Gt) entre 2008 y 2010, a pesar de la crisis financiera internacional. Si el mundo quiere mantener el calentamiento global a 2 °C en este siglo, las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector energético no deben exceder 32 Gt para 2020.

*La cristalografía puede identificar nuevos materiales que puedan purificar el agua por meses, como nanoesponjas (filtros para grifos) y nanotabletas.*



Sin embargo, se espera que el consumo global de energía aumente un 50% entre 2007 y 2035, con países no pertenecientes al OCDE siendo responsables del 84% del aumento. En 2009, 1400 millones de personas aún carecían de acceso a electricidad. Se espera que la demanda de energía de recursos renovables aumente en un 60% para 2035.

*La cristalografía puede desarrollar nuevos productos para reducir el consumo energético de una casa mientras se recortan las emisiones de carbono, como materiales aislantes. También puede identificar nuevos materiales que reduzcan el costo de los paneles solares, molinos de viento y baterías, haciéndolos también más eficientes, para reducir el desperdicio así como mejorar el acceso a tecnologías verdes.*

### Haciendo más ecológica a la industria química

Hacer más ecológica a la industria química será clave para hacer más ecológica la economía global. La industria química produce más de 70.000 productos diferentes, desde plásticos y fertilizantes hasta detergentes y drogas. Esta industria es altamente dependiente del petróleo, consumiendo 10% de su producción mundial para hacer 80-90% de sus productos. Es, por tanto, una industria hambrienta de recursos y energía.

Además, muchos solventes y catalizadores son tóxicos y el desecho de la basura química es caro y complicado. Actualmente, sustancias tóxicas y carcinógenas son liberadas al aire, suelo y agua. De acuerdo al Programa Ambiental de las Naciones Unidas, Europa occidental produjo un total de 42 millones de toneladas de desechos tóxicos en el año 2000, de los cuales cinco millones fueron exportados un año después.

*La cristalografía puede contribuir al desarrollo de materiales de construcción ecológicos en países desarrollados y en desarrollo. También puede ayudar a reducir la contaminación ambiental reemplazando los solventes químicos con solventes inorgánicos "verdes" basados en líquidos iónicos y CO<sub>2</sub>. También puede ayudar a reducir los desechos de la minería y costos relacionados contribuyendo a los métodos para extraer selectivamente solo los materiales requeridos.*

### Desafíos para la salud

Los desafíos relacionados con la salud seguirán siendo enormes por las próximas décadas. Actualmente no hay una vacuna o cura efectiva para pandemias como el VIH/SIDA, la fiebre del dengue y la malaria, que continúan devastando particularmente al mundo en vías de desarrollo.

Muchos problemas de salud en países en desarrollo están vinculados a la falta de acceso al agua potable y saneamiento seguro, incluyendo enfermedades diarreicas como el cólera o enfermedades crónicas como la esquistosomiasis, con una estimación de 90% de los casos reportados en África.

Sin embargo, los países en desarrollo también están expuestos a las mismas cargas crónicas de salud que los países desarrollados, incluyendo enfermedades cardíacas, cáncer y, cada vez más, diabetes.

Otras preocupaciones serias de salud que afectan a países ricos y pobres por igual incluyen la aparición de nuevos patógenos y la creciente resistencia de las bacterias a los tratamientos médicos existentes.

*La cristalografía puede atacar la creciente resistencia de las bacterias a los antibióticos. Junto a Venkatraman Ramakrishnan y Thomas Steitz, la cristalógrafa Ada Yonath ha logrado determinar la estructura del ribosoma y la forma en la que es alterado por los antibióticos. Los ribosomas son los responsables de la producción de todas las proteínas en células vivas, incluyendo las de humanos, plantas y bacterias. Si el trabajo del ribosoma es impedido, la célula muere. Los ribosomas son un objetivo clave para los antibióticos, ya que los antibióticos pueden atacar la actividad ribosomal de bacterias peligrosas dejando los ribosomas humanos intactos. En 2008, la Prof. Yonath recibió el Premio L'Oreal-UNESCO para Mujeres en Ciencia por su trabajo y, un año después, los tres científicos recibieron el Premio Nobel.*

*Los trópicos en particular son bendecidos con una rica biodiversidad que frecuentemente permanece sub-explotada. La cristalografía puede ayudar a los países a identificar las propiedades y comportamiento de plantas nativas, con el objetivo de desarrollar productos para el cuidado de la piel y la salud, remedios herbales, etc.*

# ¿Quiénes se verán beneficiados por el Año Internacional de la Cristalografía?

## El Año Internacional de la cristalografía se dirige a los gobiernos

Interactuando con ellos y asesorándolos en el diseño de políticas que permitan:

- ❖ financiar la creación y el mantenimiento de al menos un Centro Nacional de Cristalografía en cada país;
- ❖ desarrollar lazos de cooperación con centros de cristalografía extranjeros, así como con laboratorios de gran escala como sincrotrones y otros;
- ❖ impulsar el uso de la cristalografía en investigación y desarrollo;
- ❖ impulsar la investigación en cristalografía;
- ❖ introducir la cristalografía en las currículas de las escuelas y las carreras universitarias, y/o modernizar las currículas ya existentes.

Además, se han planificado una serie de “reuniones cumbre” para identificar las dificultades encontradas para realizar investigación de primer nivel en cada región del mundo, y encontrar estrategias para superar estas dificultades. Estos encuentros reunirán países que están divididos por cuestiones de lenguaje, etnias, religión o factores políticos, para que juntos puedan delinear perspectivas para mejorar su ciencia, tecnología y desarrollo industrial, así como identificar oportunidades laborales.

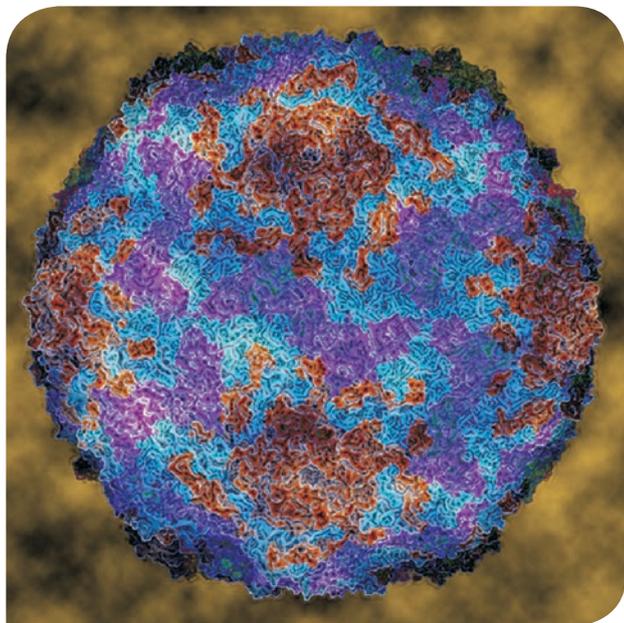
## El Año Internacional se dirige a escuelas y universidades

Para introducir la enseñanza de la cristalografía allí donde todavía está ausente. Esto se hará, entre otras cosas, organizando:

- ❖ laboratorios itinerantes preparados por la Unión Internacional de Cristalografía, que demostrarán cómo funciona un difractor en países de Asia, África y Latinoamérica, en colaboración con fabricantes y proveedores de difractómetros;
- ❖ la actividad, ya puesta en marcha, llamada “Initiative in Africa” en las universidades africanas (ver recuadro debajo), que será intensificada y extendida a otros países en Asia y Latinoamérica donde no hay suficiente enseñanza de la cristalografía;
- ❖ demostraciones interactivas y concursos en escuelas primarias y secundarias;
- ❖ proyectos de resolución de problemas en los que los alumnos deban emplear sus conocimientos de cristalografía, física y química;
- ❖ una exhibición itinerante para escuelas y universidades acerca de La Cristalografía y el Arte Geométrico en el Mundo Árabe-Islámico, organizada por la Asociación Marroquí de Cristalografía (ver recuadro en Pág. 12). La exhibición también mostrará cristalización y difracción de rayos X utilizando un difractor portátil

*Durante los últimos 20 años, la cantidad de personas que sufren diabetes en el mundo se ha incrementado de 30 a 230 millones, de acuerdo con las estadísticas de la Federación Internacional de Diabetes. Siete de los diez países con mayor cantidad de enfermos diabéticos son países en desarrollo o con economías emergentes, incluyendo China e India. En la región del Caribe y Medio Oriente, alrededor del 20% de la población adulta sufre de diabetes. Fue gracias a la determinación de la estructura cristalina de la insulina natural, producida por el páncreas, que fue posible fabricar una insulina biosintética “humana” que salva actualmente tantas vidas. Foto: Wikipedia.*





Un virus. No se pueden diseñar drogas o medicamentos sin conocer la estructura de las proteínas relevantes

## El Año Internacional se dirige al público en general

Se buscará concientizar a la población acerca de la manera en que la cristalografía apuntala a la mayoría de los desarrollos tecnológicos de la sociedad moderna, así como también su rol en el cuidado del patrimonio cultural y la historia del arte, a través de:

- ❖ conferencias públicas organizadas por miembros de la Unión Internacional de Cristalografía en temas de gran relevancia como la estructura cristalina de las proteínas para el desarrollo y diseño de medicamentos, cristalografía y simetría en el arte, o análisis cristalográfico de obras de arte y antigüedades;
- ❖ auspicio de exposiciones de material gráfico que resalte la importancia, la utilidad y las maravillas de la cristalografía;
- ❖ envío de artículos a la prensa, televisión y otros medios acerca de los aportes de la cristalografía a la economía global.

## IMPULSANDO LA CRISTALOGRAFÍA EN UNIVERSIDADES DE ÁFRICA



©Serah Kimani

Una de las principales misiones de la Unión Internacional de Cristalografía es la de proveer entrenamiento en enseñanza e investigación en cristalografía a académicos y estudiantes de doctorado de países en vías de desarrollo. En colaboración con universidades sudafricanas y la Asociación Sudafricana de Cristalografía, la IUCr organizó durante los últimos diez años un ciclo de cursos en los países africanos angloparlantes. Esta cooperación otorgó, además, una beca a dos estudiantes de doctorado excepcionales de Kenya: Serah Kimani (fotografía) y Ndoria Thuku. La beca les permitió completar sus estudios doctorales en Sudáfrica. La tesis de Serah Kimani incluyó la determinación de 40 estructuras cristalinas. Serah consiguió un puesto de trabajo en la Universidad de Cape Town en 2012. La tesis de Ndoria Thuku incluyó la determinación de la estructura del *Rhodococcus rhodochrous*, una bacteria que se utiliza como inoculante de suelos para mejorar la salud de las plantas en agricultura y horticultura. Desde su graduación en 2012, el Dr. Thuku trabaja como investigador posdoctoral en la División de Bioquímica Médica de la Universidad de Cape Town.

En el año 2011, la Unión Internacional de Cristalografía diseñó un ambicioso programa para países africanos subsaharianos. Conocido como "Crystallography in Africa Initiative", este programa no sólo entrena al personal docente y estudiantes de doctorado en cristalografía, sino que también provee a las universidades participantes con difractómetros valuados entre 80,000 y 150,000 euros, para que puedan llevar adelante investigación a nivel internacional. Un socio fundamental en este emprendimiento es la empresa privada Bruker Francia, quien accedió a ofrecer difractómetros en perfecto estado de funcionamiento para todas las universidades señaladas por la Unión Internacional de Cristalografía. La IUCr cubre los gastos de entrega de difractómetros a cada universidad, y éstas a cambio se comprometen al mantenimiento del equipo y a solventar los costos de equipamiento adicional, como computadoras o tubos de Rayos X.

## El Año Internacional se dirige a la comunidad científica

Se impulsará la colaboración internacional entre científicos del mundo entero, con especial énfasis en las colaboraciones Norte-Sur, a través de:

- \* el lanzamiento de una revista científica de cristalografía del tipo "open-access", llamada IUCrJ;
- \* proyectos conjuntos de investigación que involucren grandes instalaciones de sincrotrón tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo, como el sincrotrón de Brasil o el SESAME en el Medio Oriente, que nació como un proyecto de la UNESCO (ver fotografía en pág. 14);
- \* consultas para identificar la mejor forma de almacenar la información cristalográfica obtenida en grandes instalaciones experimentales o en laboratorios de cristalografía



Ilustración de la portada del primer número de la revista de acceso libre, disponible en [www.iucrj.org](http://www.iucrj.org)

El primer académico en ser entrenado en el uso de estos instrumentos viene de la Universidad de Dschang en Camerún. El personal docente y los estudiantes de doctorado participaron de un curso intensivo de 20 horas en febrero de 2012, para poder así estar preparados para la llegada del difractor el siguiente año.

En ese momento, se fundó la Asociación de Cristalografía de Camerún. La flamante Asociación brindó su primer curso del 7 al 13 de abril de 2013 en Dschang. El curso se dedicó al uso de la difracción para la determinación de estructuras cristalinas, y convocó a 24 profesores y estudiantes de posgrado de universidades de Camerún y la región circundante. El curso fue cofinanciado por la Unión Internacional de Cristalografía, la Asociación de Cristalografía de Camerún y la Universidad de Dschang.

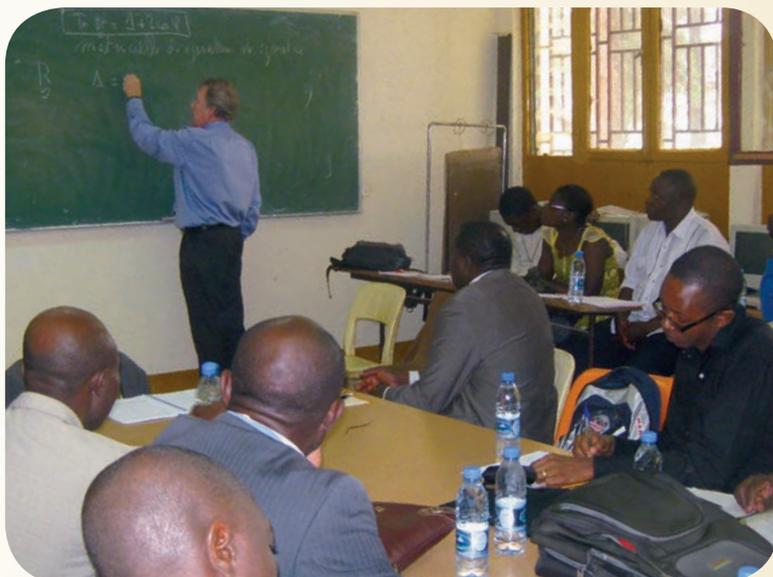
Los próximos países en beneficiarse de esta iniciativa serán Costa de Marfil, Gabón y Senegal. Se está trabajando con una universidad de cada país. Tal universidad, a su vez, deberá hacerse cargo de entrenar personal en otras universidades nacionales y oficiar como Centro Nacional de Cristalografía. Cada centro nacional tendrá acceso gratuito a las publicaciones especializadas de la Unión Internacional de Cristalografía.

Actualmente, la Unión está contactando otros auspiciantes, para poder generalizar la Iniciativa en Cristalografía en África a lo largo de todo el continente.

El Año Internacional de la Cristalografía debería también hacer posible que esta iniciativa se replique en otros países en vías de desarrollo en Asia y Latinoamérica.

Para más detalles:

[claudelcomte@crm2.uhp-nancy.fr](mailto:claudelcomte@crm2.uhp-nancy.fr)



Prof. Claude Lecomte, Vicepresidente de la IUCr, dictando un curso de cristalografía en la Universidad de Dschang en Camerún en febrero de 2012 © Patrice Kenfack/Asociación de Cristalografía de Camerún

## LA SIMETRÍA EN EL ARTE Y EN LA ARQUITECTURA

Sea en una cara humana, una flor, un pez, una mariposa –o un objeto sin vida como una conchilla marina- la simetría está siempre presente en la naturaleza; ha fascinado a las civilizaciones humanas, las cuales han reflejado la simetría en su arte y arquitectura por miles de años.

La simetría puede encontrarse en todas las expresiones humanas de la creatividad: alfombras y tapetes, cerámicas, dibujo, pintura, poesía, escultura, arquitectura, caligrafía, etc. Existe la simetría en el alfabeto chino, por ejemplo. La simetría en el arte y la arquitectura china es una manifestación de su filosofía de la búsqueda de la armonía a través del balance.

El arte y la arquitectura pueden demostrar diferentes formas de simetría. Se dice que un patrón que se repite en sí mismo indefinidamente, muestra una simetría translacional. Esta puede ser unidimensional como el zócalo de la página, o bidimensional como los animales con alas en la imagen más abajo.

En simetría bilateral, el lado izquierdo y el lado derecho son imágenes en espejo el uno del otro.

Un ejemplo en la naturaleza, son las mariposas. La simetría bilateral siempre ha sido una característica común de la arquitectura: ejemplos son el **Taj Mahal** en India (foto), la Ciudad Prohibida en China, o el templo Maya de **Chichen Itzá** en México (foto). La simetría bilateral es también común en el arte, aunque una simetría perfecta en pintura es rara.

Si una figura puede ser girada alrededor de su eje o de un punto en particular sin cambiar la forma en que se veía originalmente, se dice que muestra una simetría rotacional. Las pirámides de Giza en

Egipto, por ejemplo, muestran una simetría rotacional de orden cuatro (incluyendo la base). El interior del domo de la **Mezquita de Lotfollah** en Irán (foto), muestra una simetría rotacional de orden 32, alrededor del punto localizado en el centro de la figura.

Los patrones simétricos han invadido el arte de muchas civilizaciones. Ejemplos son las pinturas de arena de los Indios Navajo en América del Norte, los **kolam** del sur de India (foto), los **batik** de Indonesia (prendas de ropa anudadas y teñidas), el Arte de los Aborígenes de Australia, y los mandalas tibetanos.



*Cabeza de bronce de Yoruba, de la ciudad nigeriana de Ife, siglo XII CE. Foto: Wikipedia.*

*Símbolos chinos para la felicidad. Pronunciación: shuangxi*

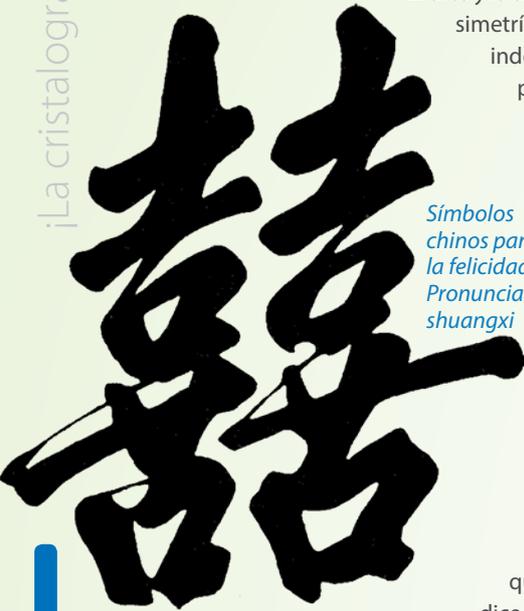
*Imagen bidimensional por Mauris Cornelis Escher (Holanda) © M C Escher Foundation*



*Taj Majal, India, terminado en 1648, hoy patrimonio de la humanidad UNESCO. Foto: Muhammad Mahdi Karim/Wikipedia.*



*Templo Maya en Chichen Itzá en México, que floreció alrededor del año 600 al 900 DC, hoy patrimonio de la humanidad de UNESCO. © S. Schneegans/UNESCO*



Las civilizaciones islámicas de alrededor del siglo VII en adelante, usaban los patrones geométricos en mosaicos y otras formas de arte para conectar visualmente la espiritualidad con la ciencia y el arte. El arte islámico puede haber inspirado a la Escuela del Oeste de las abstracciones geométricas del siglo XX, de la cual dos exponentes fueron **Maurits Cornelis Escher** y **Bridget Riley** (foto). Se dice que Escher fue inspirado por una visita al Palacio Morisco de la Alhambra en España.

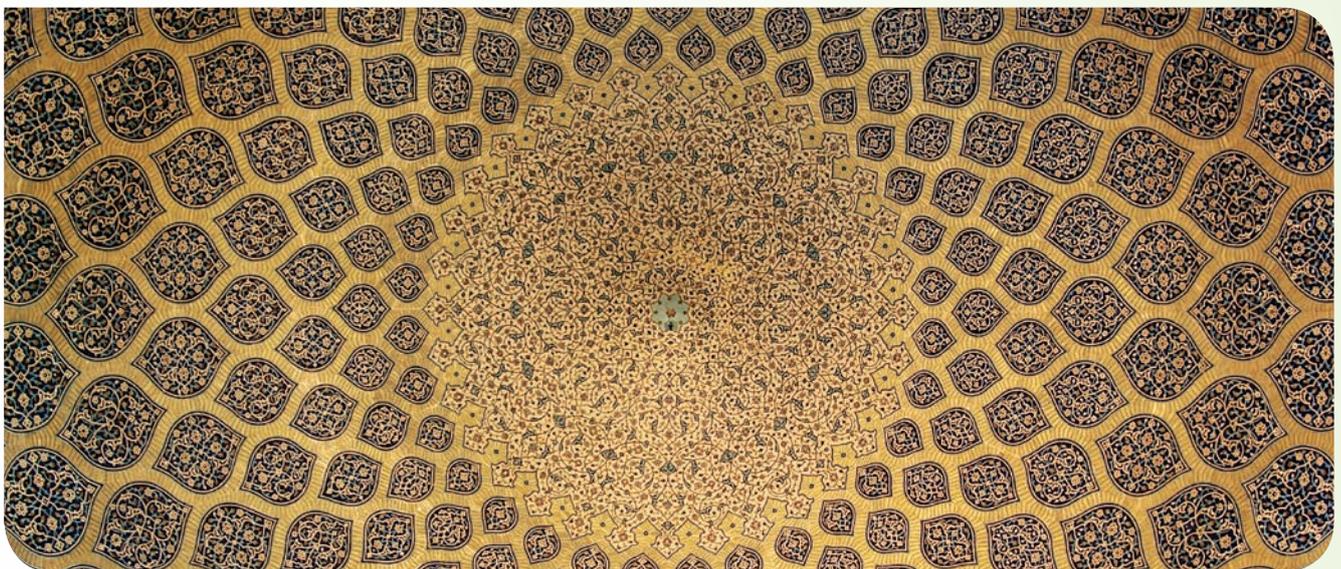
Durante 2014, la Asociación Marroquí de Cristalografía está organizando una exhibición itinerante en Cristalografía y Arte Geométrico en el mundo Árabe-Islámico.

Para más detalles, escribir a:  
 Abdelmalek Thalal: abdthlal@gmail.com



*Cielo raso de la Mezquita de Lotfollah en Irán, terminado en 1618, hoy patrimonio de la humanidad UNESCO. Photo: Phillip Maiwald/Wikipedia.*

*Kolams como este en Tamil Nadu están dibujados con polvo de arroz o tiza frente a las casas para traer prosperidad. Se renuevan diariamente. Foto: Wikipedia*



*Al-Attarine Madrasa (escuela) en Fez, Marruecos, patrimonio de la humanidad. Construido por el Sultán de Marinid Uthman II Abu Saïd en 1323–1325. © A. Thalal*



*Juego de Sombras por Bridget Riley, UK, 1990. Foto: Wikipedia*

*Zócalo unidimensional. Imagen: Asociación Marroquí de Cristalografía.*



# ¿Cómo puede mi país impulsar la cristalografía en el 2014 y después?

Todo país interesado en el desarrollo de industrias basadas en el conocimiento o en la adición de valor a productos crudos debe tener una capacidad endógena en cristalografía. Durante este año, los países en desarrollo en África, la región árabe, América Latina, el Caribe y Asia pueden hacer mucho para impulsar la cristalografía en sus tierras.

## Formas de mejorar la formación y la investigación

Como hemos visto, la cristalografía es una ciencia interdisciplinaria que abarca la física, la química, la ciencia de materiales, la geología, la biología, la farmacia y la medicina. Los científicos con experiencia en cualquiera de estos campos son entonces potenciales cristalógrafos. A lo largo del tiempo, la Unión Internacional de Cristalografía tratará de alentar a más países a convertirse en miembros, con el fin de facilitar la cooperación internacional en formación e investigación, así como el acceso a la información y el conocimiento.

Una vez capacitados, los cristalógrafos necesitan una infraestructura apropiada, a fin de aplicar sus habilidades. La UNESCO y la Unión Internacional de Cristalografía recomiendan que los gobiernos establezcan al menos un centro nacional de cristalografía equipado con un difractor y que lo doten de una financiación sostenida. Una vez que el difractor haya terminado el análisis de la estructura de un cristal, el centro de cristalografía puede modelarla usando un software apropiado para cristalografía. Como socios, los fabricantes de difractómetros garantizarán un precio accesible para la compra de un difractor y ofrecerán capacitación local en el mantenimiento de estos instrumentos.

Es importante que el gobierno ponga en marcha políticas que faciliten los vínculos de los centros con las universidades y la industria en el país, así como con otros centros de cristalografía de todo el mundo, con el fin de conducir a un desarrollo sostenible basado en el conocimiento.

*La pared de protección completa en la sala experimental de la fuente de luz sincrotrón SESAME, en el Medio Oriente, un centro intergubernamental en Jordania que se ha creado bajo los auspicios de la UNESCO y reúne a Bahrain, Chipre, Egipto, Irán, Israel, Jordania, Pakistán, Palestina y Turquía, así como 13 Estados observadores que incluyen a Japón y a los Estados Unidos. El edificio SESAME fue terminado en el 2008 y el laboratorio será plenamente operativo a principios de 2016. © SESAME*





El gobierno también debe fomentar el desarrollo de las relaciones entre el centro nacional de cristalografía y fuentes de luz sincrotrón nacionales e internacionales como SESAME en Jordania (*ver foto*).

Con el fin de compartir el conocimiento de los avances científicos y tecnológicos en cristalografía y dar mayor visibilidad a las publicaciones de cristalógrafos de los países en desarrollo, en particular, la Unión Internacional de Cristalografía está lanzando una revista de acceso abierto sobre cristalografía, IUCrJ (*ver foto página 11*).

La UNESCO y la Unión Internacional de Cristalografía también están alentando a los gobiernos a establecer centros regionales o subregionales para que ofrezcan formación y experimentación en cristalografía, con el fin de racionalizar los recursos para creación de capacidad institucional.

### La capacitación de los cristalógrafos del mañana

Ahora es el momento para que los países entrenen una masa crítica de cristalógrafos. Los gobiernos pueden tomar medidas para modernizar programas escolares y universitarios mediante el fomento de una mejor correlación con la cristalografía en los planes de estudio de la física, la química, la biología y la geología. La UNESCO y la Unión Internacional de Cristalografía están a disposición de los gobiernos para proporcionar orientación sobre el desarrollo curricular. También invitan a los gobiernos a expresar su interés en proyectos que solucionen problemas y concursos para escuelas en las cuales se utilicen conocimientos de cristalografía, física y química.

El objetivo es demostrar las aplicaciones prácticas de estas ciencias para el desarrollo de la agricultura, el diseño de fármacos, nuevos materiales “verdes”, entre otros. Los distintos países están invitados a expresar su interés en organizar este tipo de concursos a nivel nacional.



# Para participar en el Año Internacional de la Cristalografía

Los 195 Estados Miembros de UNESCO están invitados a contactar al equipo de UNESCO en el Programa Internacional de Ciencias Básicas (IBSP) o a la Unión Internacional de Cristalografía, para organizar un programa para implementar en su país en 2014.

## Unión Internacional de Cristalografía

Prof. Gautam Desiraju,  
Presidente: [desiraju@sscu.iisc.ernet.in](mailto:desiraju@sscu.iisc.ernet.in)

Prof. Claude Lecomte,  
Vice-Presidente: [claudelcomte@crm2.uhp-nancy.fr](mailto:claudelcomte@crm2.uhp-nancy.fr)

Dr Michele Zema,  
Administrador del Proyecto del Año: [mz@iucr.org](mailto:mz@iucr.org)

## UNESCO

Prof. Maciej Nalecz, Director,  
Secretario Ejecutivo del Programa Internacional de Ciencias Básicas: [m.nalecz@unesco.org](mailto:m.nalecz@unesco.org)

Dr Jean-Paul Ngome Abiaga, Especialista de Programa  
Asistente: [jj.ngome-abiaga@unesco.org](mailto:jj.ngome-abiaga@unesco.org)

Dr Ahmed Fahmi,  
Especialista de Programa: [a.fahmi@unesco.org](mailto:a.fahmi@unesco.org)



*La cristalografía ayuda a determinar la combinación ideal de aluminio y magnesio en aleaciones utilizadas en la fabricación de aviones. Demasiado aluminio y el avión será demasiado pesado, demasiado magnesio y será más inflamable. © Shutterstock/IM\_photo*

El programa de eventos para el Año y material educativo de relevancia están disponibles (en inglés) en el sitio web oficial

[www.iycr2014.org](http://www.iycr2014.org)



## Para más información sobre el Año Internacional de la Cristalografía

### Unión Internacional de Cristalografía

Prof. Gautam Desiraju,  
Presidente: [desiraju@sscu.iisc.ernet.in](mailto:desiraju@sscu.iisc.ernet.in)

Prof. Claude Lecomte,  
Vice-Presidente: [claudel@crm2.uhp-nancy.fr](mailto:claudel@crm2.uhp-nancy.fr)

Dr Michele Zema,  
Administrador del Proyecto del Año: [mz@iucr.org](mailto:mz@iucr.org)

### UNESCO

Prof. Maciej Nalecz, Director,  
Secretario Ejecutivo del Programa Internacional de Ciencias  
Básicas: [m.nalecz@unesco.org](mailto:m.nalecz@unesco.org)

Dr Jean-Paul Ngome Abiaga,  
Especialista de Programa Asistente: [jj.ngome-abiaga@unesco.org](mailto:jj.ngome-abiaga@unesco.org)

Dr Ahmed Fahmi,  
Especialista de Programa: [a.fahmi@unesco.org](mailto:a.fahmi@unesco.org)

# [www.iycr2014.org](http://www.iycr2014.org)

