

# Folleto Didáctico por Competencias: Cristalografía

Tesis que como Requisito para obtener la Maestría en Educación Científica presenta:

**Mireya Anabel Duarte Martínez**

Directores de tesis:

**M. C. Mario Jesus Franco García**

**Dr. Roberto Martínez Sánchez**

Chihuahua, Chih. Octubre de 2009

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***Agradezco .....***

..... Infinitamente a Dios por permitirme vivir ésta experiencia tan dinámica y hermosa, en la cual encontré más que el conocimiento disciplinar, encontré el sentimiento de la amistad, con todos mis compañeros, maestros, asesores, y personal que labora en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados.

..... A mis hijas Ana Graciela y Mía, el apoyo, cariño y sacrificio que me ofrecieron para permitirme llevar a término mis estudios, y la elaboración de este documento, como una forma de mi superación profesional.

..... El cariño, y el apoyo incondicional de mis padres Lupita y Chuy, para poder realizar este sueño, sin ellos no hubiera podido ser posible el haber culminado este proyecto, jamás me dejaron desfallecer, y sin su presencia, que hubiera sido de mis hijas.

..... A mis maestros su tiempo y dedicación para permitir me empapara de los conocimientos necesarios para lograr un cambio en mi forma de impartir mis clases.

..... A mis asesores de tesis, Mtro. Mario Franco y Dr. Roberto Martínez el tiempo invertido en revisar y analizar en conjunto este trabajo, presentado como un proyecto didáctico para mis clases en la Preparatoria.

..... A mis compañeros por permitirme ser parte de este grupo tan exitoso, y por tener una actitud de triunfadores, e infundirlo en mi persona para poder terminar. Por animarme cada vez que desfallecí, y no me permitieron desertar.

..... A las autoridades educativas del nivel medio superior, por darme esta oportunidad de poder cursar esta Maestría, muy en especial a los directivos escolares de la Preparatoria Maestros Mexicanos, por otorgar todas las facilidades de las que fui objeto para cursar la Maestría en Educación Científica.

# INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>III</b>
<b>I.- RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>II.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>1.- ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
LA ENSEÑANZA MEDIA EN LA HISTORIA .....	3
LOS ORÍGENES DEL BACHILLERATO EN MÉXICO .....	3
PRINCIPIOS GENERALES .....	4
REFORMAS EN CURSO .....	6
<b>2.- JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>3.- PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>12</b>
<b>4.- OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS PARTICULARES .....	13
<b>5.- DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b> .....	<b>15</b>
<b>III.- FUNDAMENTOS PEDAGOGICOS Y DISCIPLINARES</b> .....	<b>16</b>
<b>1.- FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS</b> .....	<b>16</b>
<i>Competencias genéricas</i> .....	24
<i>Competencias y conocimientos disciplinares</i> .....	26
<i>Competencias profesionales</i> .....	26
<i>Enfoques Disciplinares del Bachillerato</i> .....	27
<b>2.- FUNDAMENTOS DISCIPLINARES</b> .....	<b>31</b>
<b>IV.-DESARROLLO DEL PRODUCTO</b> .....	<b>35</b>
<b>V.- IMPLEMENTACIÓN</b> .....	<b>35</b>
<b>VI.- CONCLUSIONES:</b> .....	<b>39</b>
<b>VII.- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>40</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>43</b>

## I.- RESUMEN

En el presente trabajo se elabora un folleto didáctico basado en competencias, en el tema de Cristalografía, se encuentra sustentado de acuerdo a los fundamentos de la Reforma Integral de la Educación Media Superior. Con el objetivo de producir materiales didácticos adecuados para promover el interés y la motivación de los alumnos en los temas de ciencias experimentales, a través de la ciencia y la tecnología, en respuesta al bajo índice de aprovechamiento y altos niveles de reprobación de las asignaturas de ciencias y matemáticas. El nuevo modelo educativo que se propone en la Reforma es la de un aprendizaje basado en competencias. Por tal motivo este folleto propicia el desarrollo y consolidación de las competencias genéricas, las competencias disciplinares básicas y el manejo en el alumno de las nuevas tecnologías de la informática y la comunicación. Se encuentra estructurado con diversos apartados: la teoría específica del tema de Cristalografía, imágenes para facilitar la comprensión de conceptos abstractos del tema, actividades escritas, actividades experimentales sencillas, y actividades integradoras elaborados por medios electrónicos (Webquest). Se implementará el material didáctico a los alumnos de la Escuela Preparatoria Maestros Mexicanos, turno matutino, dentro de la asignatura de Formación para el Trabajo, del área de Química, en el periodo de un semestre de acuerdo al cronograma de actividades.

**Palabras clave:** Cristalografía, Folleto didáctico, Competencias.

### Summary

The present job develops a didactic booklet based in competences on the subject of crystallography, is supported according to the basis of the Integral Reform of Media Education. With the objective of produce the appropriate didactics materials to promote interest and motivation of students in the subjects of experimental sciences, through the science and technology, in response to the low rate of advantage and high levels of disapproval of science and mathematics subjects. The new educational model proposed in the Reform learning based in competences. Therefore this booklet promotes the development and consolidation of the generic competences, the basic disciplinary competences and the management in the students of the new computing and communication technologies. It is structured with various sections: the theory specifies the topic of Crystallography, images to facilitate the comprehension of abstract concepts of the topic, written activities, simple experimental activities, and integrated activities developed by electronic resources (Webquest). The didactic material will be implement to the students of the "Maestros Mexicanos" high school, morning shift, in the course of training for the job, the area of Chemistry in the period of a semester according to the schedule of activities.

**Keywords:** Crystallography, Educational booklet, Competences.

## II.- INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo forma parte de un proyecto para incrementar el interés de los alumnos del nivel medio superior por un tema de la asignatura de Química, “la cristalografía”; este tema no aparece dentro del programa, por lo tanto podemos decir que es innovador, y para lograr este objetivo se desarrolló un folleto didáctico basado en competencias disciplinares básicas. En dicho folleto los alumnos se apropiarán de los conocimientos básicos, a través de varias actividades sencillas y de forma práctica llevarán a cabo experimentos sencillos con sustancias adecuadas al nivel educativo, de esta forma el alumno tiene la sensación de estar haciendo ciencia, logrando adquirir la experiencia de observar que algo ocurre en sus propios experimentos.

La cristalografía como ciencia es una rama de la Química que es objeto de interés para químicos, físicos, geólogos, biólogos y matemáticos. El estudio de ella supone tomar parte en todas y cada una de estas disciplinas, así como darse cuenta de que la Naturaleza no está separada en química, física, biología y geología.

Este trabajo se ha diseñado bajo los lineamientos de la nueva Reforma Integral de la Educación Media Superior, la cual ha entrado en vigor de forma escalonada en los diferentes subsistemas educativos, a partir del año 2008.

## **1.- ANTECEDENTES**

### **LA ENSEÑANZA MEDIA EN LA HISTORIA**

El bachillerato se ha desarrollado de diversas maneras en el mundo educativo, condicionado por las características históricas y sociales del momento. En la Edad Media, la educación intermedia se impartía en los monasterios y estaba dirigida a los jóvenes de la nobleza y a los hijos de los señores feudales. Dichos estudios giraban en torno a la teología y las artes liberales. Al fortalecerse la burguesía, ésta exige una educación más práctica, y de esta forma aparecen las escuelas urbanas, con un método de enseñanza pasivo, mecánico y memorístico.

El avance de la ciencia conduce a la búsqueda de una emancipación de la educación respecto de la Iglesia y del método escolástico, lo que se logra en algunos casos por medio de las Universidades. El creador de la enseñanza media es el alemán Joanes Sturm o Sturm (1507-1589). Con el avance de las sociedades, y el incremento de las ciencias en los siglos XVIII y XIX se introduce la enseñanza inspirada en Montaigne y Rousseau

Así las sociedades reclaman su derecho a ser educados y de esta manera el Estado se persuade de que su deber es dirigir, organizar y supervisar las escuelas, dando origen pues al sistema educativo, a través de la experiencia se Inician otros métodos para la enseñanza, tendientes al perfeccionamiento (Calderón 1986).

Los países desarrollados han dedicado más esfuerzos a proporcionar una educación general más amplia, para preparar alumnos que prosigan su educación superior (propedéutica), mientras que los países subdesarrollados, se han enfocado en una preparación de tipo tecnológica, es decir que prepare a los alumnos para la vida laboral. En nuestros días se ha visto la necesidad de que nuestros jóvenes obtengan una educación integral.

### **Los orígenes del Bachillerato en México**

Así como en la historia de la educación, en México, la educación se inicia en las órdenes religiosas, son ellos quienes poseen el control de los estudios, los beneficios de esta educación están dirigidos a las clases más prominentes de

nuestro México, dejando de lado a todos aquellos que no pueden acceder a ella, como los indígenas.

Los visionarios personajes precursores de nuestra independencia, vieron que con la educación se formarían nuevos ciudadanos, y para ello, lograron fundar nuevas escuelas que atendieran al pueblo, así de esta manera y bajo el régimen del Presidente Benito Juárez, se promulgan los primeros instrumentos legales para la organización de la Educación Media Superior. Posteriormente se funda el 1 de febrero de 1868 la Escuela Nacional Preparatoria, la cual era dirigida por el Profesor Gabino Barreda.

El gran auge de la educación, y la demanda generada por ella, permite pues que en 1971 se funde el bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades, y el 26 de septiembre de 1973, por decreto presidencial, el Colegio de Bachilleres, organismo descentralizado del Estado que comienza a funcionar en 1974 (Calderón 1986). De esta manera se inicia con el Bachillerato en México, y a través de los años se han dado varias modificaciones a los planes y programas del nivel medio superior. El sistema educativo ha respondido tanto al desenvolvimiento económico y cultural, como a las exigencias que han planteado los grandes movimientos sociales. Es así como la independencia, la reforma y la revolución se han visto acompañadas de profundos cambios en el sistema educativo (Carranza, 1973).

Nuestro sistema educativo se presenta con varios niveles de educación, en donde tenemos, Inicial, Preescolar, Primaria, Secundaria, Medio Superior, y Superior. Actualmente se estructura de forma heterogénea por: Los educando y los educadores (nosotros), Las autoridades educativas, Los planes, programas educativos, materiales, instrumentos, etc...., Las instituciones educativas por parte del Estado y los organismos descentralizados, Las instituciones particulares, con validez oficial, y Las instituciones de educación superior autónomas.

### **Principios generales**

El artículo 37 de la Ley General de Educación (LGE) señala que: «El tipo medio-superior comprende el nivel de bachillerato, los demás niveles equivalentes a éste, así como la educación profesional que no requiere bachillerato o sus equivalentes». El bachillerato es inmediatamente posterior a la educación secundaria, se cursa en dos o tres años y es de carácter *propedéutico* para cursar

estudios superiores. Existen también bachilleratos que son *propedéuticos y terminales* al mismo tiempo, es decir, que además de ofrecer una preparación general a sus alumnos para el ingreso a la educación superior, confieren títulos de nivel medio profesional. Otra modalidad de la educación media superior es *terminal*, esto es, no permite al alumno ingresar a la educación superior, tiene una duración de dos a cuatro años y ofrece certificados de profesionales técnicos en actividades industriales, de servicios y del mar.

El objetivo del bachillerato general es ampliar y consolidar los conocimientos adquiridos en secundaria y preparar al educando en todas las áreas del conocimiento para que elija y curse estudios superiores.

El objetivo del bachillerato tecnológico, junto con los objetivos anteriores, es capacitar al alumno para que participe en el desarrollo económico mediante actividades industriales, agropecuarias, pesqueras y forestales.

La educación profesional media tiene como objetivo capacitar a los alumnos en actividades productivas y de servicios a fin de que pueda incorporarse al mercado de trabajo del país.

El Artículo Tercero Constitucional establece que el Estado promoverá y atenderá todos los tipos y modalidades educativos, lo cual incluye a la educación media superior. Además faculta a los particulares a impartir educación en todos los tipos y modalidades y estipula que el Estado otorga y retira el reconocimiento de validez oficial a los estudios que se imparte en establecimientos particulares. (SEP,1991b: 17). (Germán, 1994).

Actualmente, existen tres tipos de programa de EMS: el bachillerato general, cuyo propósito principal es preparar a los alumnos para ingresar a instituciones de educación superior, el profesional técnico, que proporciona una formación para el trabajo, y el bivalente o bachillerato tecnológico, que es una combinación de ambas. Los bachilleratos general y tecnológico se imparten bajo las modalidades de enseñanza abierta y educación a distancia. Asimismo, la opción técnica ofrece ya la posibilidad de ingreso a la educación superior. (Soto,ed media sup).

La Ley General de Educación establece que la educación media superior: “comprende el nivel de bachillerato, los demás niveles equivalentes a éste, así como la educación profesional que no requiere bachillerato o sus equivalentes”. Su función es atender la necesidad de apoyar el proceso de formación integral de

la población escolar compuesta mayoritariamente por jóvenes de entre quince y dieciocho años de edad, quienes reciben el servicio en instituciones federales, estatales, autónomas y privadas.

La educación media-superior en México, es uno de los niveles educativos más descuidados del sistema educativo nacional, ya que es el nivel que menos apoyo presupuestal, con menos apoyo en equipamiento e infraestructura de los últimos años. Aunado a lo anterior, el bachillerato se ha convertido en el “sándwich” entre la secundaria y la preparación profesional lo hace parecer inútil y poco provechoso a los padres de familia. (Cruz, 2007).

### **Reformas en curso**

La Secretaría de Educación Pública reestructuró los bachilleratos pedagógicos convirtiéndolos en centros de estudios de bachillerato. El nuevo plan de estudios abarca opciones pedagógicas, propedéuticas y de capacitación para el trabajo en comercialización de productos, administración de la pequeña empresa, informática, contabilidad, mecánica dental, fruticultura, conservación de alimentos y salud pública (SEP, 1992c: 46).

El Colegio de Bachilleres, por su parte, implantó siete programas en el área de formación básica, actualizó los programas de las asignaturas del tercero y cuarto semestres y se revisaron los programas de las asignaturas del segundo semestre de formación básica, además de 10 asignaturas de formación básica y, en el quinto semestre, de formación para el trabajo (SEP, 1992c: 46).

Para fortalecer el bachillerato tecnológico se creó el Sistema Institucional de Desarrollo Curricular Participativo, en el que contribuyen los sectores productivo y social. Mediante este sistema se llevan a cabo la evaluación, actualización y reestructuración de planes y programas del tronco común del bachillerato tecnológico. El sistema empezó a operar a través de una prueba piloto en diversos Estados de la República en la que participaron 4,500 alumnos y 600 maestros. Se evaluaron diversas áreas (metodología, ciencias naturales, ciencias sociales y lenguaje y comunicación) (SEP, 1992c: 44- 46).

Como parte del Sistema Institucional de Desarrollo Curricular se reestructuraron 119 planes de estudio y 4,800 planes del tronco común; se realizaron reuniones de academias y se creó el sistema de créditos académicos. Además se impulsó el

bachillerato científico, que en la actualidad es ofrecido en 14 estados del país, mediante convenios suscritos con la SEP (SEP, 1992c: 44-46)

En la educación profesional media, de acuerdo con los lineamientos del Programa Nacional para la Modernización Educativa, la SEP elaboró y distribuyó el *Manual para la Instrumentación, Liquidación, Cancelación y Cambio de Modelo de Carreras y/o Especialidades*, en el que se dan las directrices para hacer bivalente la educación profesional media y facilitar el tránsito de los alumnos al bachillerato tecnológico o de éste al general (SEP, 1992c: 41-42). (Germán, 1994).

Las recomendaciones de ANUIES se fundamentan en el texto: *La Educación Superior en el Siglo XXI*, que coincide con la “Declaración Mundial de la Educación Superior: Visión y Acción (UNESCO, París, 1998) aprobada por la Conferencia Mundial sobre la Educación Superior que implica la incorporación de un nuevo enfoque educativo que sea flexible y eficiente dentro del Sistema de Educación Superior para que se tenga como base el aprendizaje, brinde atención al desarrollo humano integral del estudiante, formándole en valores profundos y en una sólida disciplina intelectual. .(Cruz, 2007)

En México, la educación media superior está abandonada, no tiene identidad ni mecanismos de evaluación, carece de criterios normativos y está desvinculada del sistema básico, del superior y del sector productivo, alertó el subsecretario de ese nivel, Miguel Székely. “El diagnóstico es que el Estado mexicano ha tenido una política de omisión para la educación media superior. Hay abandono presupuestal y un total desinterés que se reflejan en la situación en la que se encuentra este nivel educativo” (Székely, M. 2007).

A través del tiempo, y para cubrir y cumplir con las necesidades y los cambios tecnológicos, económicos y sociales que acontecen en nuestra sociedad, y como consecuencia de un panorama internacional, se ponen en marcha diversas reformas al modelo educativo presente en la educación media superior. En los años 80’s, se modificaron las reformas educativas con el propósito de crear, contar, dar, pasar y desarrollar la capacitación para una fuerza de trabajo más competitiva a las necesidades del mercado laboral para responder a ella con una formación académica más entera, debido a los grandes problemas que se presentaban en la formación profesional. Es por este motivo, que en la actualidad, se oferta una nueva Reforma Integral a la Educación Media Superior, que ha entrado en vigor a partir del año 2003 con una reforma curricular orientada a la asignatura de capacitación para el trabajo, y que a partir del año 2008, se ha implementado escalonadamente a todas las asignaturas académicas.

La Reforma contempla cuatro ejes. El primero se refiere a la construcción de un Marco Curricular Común (MCC) con base en competencias. Este marco curricular estará orientado a dotar a la EMS de una identidad clara que responda a sus necesidades presentes y futuras. El segundo eje considera la definición de las características de las distintas opciones de operación de la EMS, en el marco de las modalidades que contempla la Ley, de manera que puedan ser reguladas e integradas de manera efectiva al Sistema Educativo del país, y de manera específica, al SNB. El tercer eje tiene que ver con los mecanismos de gestión de la Reforma, necesarios para fortalecer el desempeño académico de los alumnos y para mejorar la calidad de las instituciones, de manera que se alcancen ciertos estándares mínimos y se sigan procesos compartidos. Estos mecanismos consideran la importancia de la formación docente, los mecanismos de apoyo a los estudiantes, la evaluación integral, entre otros aspectos que no podrán perderse de vista en el proceso de construcción del SNB. Finalmente, el cuarto eje considera la forma en la que se reconocerán los estudios realizados en el marco de este Sistema. El hecho que las distintas opciones de la EMS compartan ciertos objetivos fundamentales y participen de la identidad del nivel educativo se verá reflejado en una *certificación nacional* complementaria a la que actualmente emite cada institución. ( DGB/DCA/2002-08).

La calidad educativa adolece de deficiencias en los distintos elementos que la componen. Ello tiene un considerable impacto en la competitividad de las actividades productivas, en el contexto globalizado, y limita las posibilidades de mejoramiento de la calidad de vida de la población.

En primer término, la revisión y actualización de los planes y programas de estudio no se lleva a cabo con la frecuencia que recomiendan los estándares internacionales. Sobre el particular, cabe hacer mención del esfuerzo realizado en los últimos años para dar mayor pertinencia a la educación tecnológica, mediante la puesta en marcha del Programa de Modernización de la Educación Técnica y la Capacitación. Sin embargo, la metodología de Educación Basada en Normas de Competencia, elemento central del Programa, no ha sido adoptada por la mayoría de las instituciones de educación tecnológica. (Soto, ed. Media sup).

Los primeros antecedentes que se tienen referente a la educación basada en competencias se encuentra en un documento del Consejo Australiano de Sindicatos (ACTU) que se publicó en 1987, refiriéndose a la reforma del sistema de certificación.

Un factor crítico en este proceso es el personal docente. En general, las instituciones que participan en este nivel no cuentan con programas permanentes de capacitación y actualización docente. Los esfuerzos que se realizan son irregulares debido a que no existe un consenso sobre las competencias que debe poseer el personal, ni mecanismos de evaluación que verifiquen su cumplimiento. (Soto, ed. Media sup).

Es necesario impulsar un sistema que integre las distintas ofertas educativas, de manera que la heterogeneidad de planes y programas de estudio no dificulte la compatibilidad entre ellas y para que se enriquezcan las opciones de formación. Una mayor vinculación con el sector productivo permitirá una mayor pertinencia de los planes y programas de estudio respecto al desarrollo tecnológico, mayores apoyos del sector privado y mayor facilidad para la realización de prácticas. Lograr una mejor actualización docente y favorecer metodologías de enseñanza y formación más modernas, basadas en competencias, permitirá una mayor y mejor evaluación.

El plan nacional de educación contempla cinco estrategias fundamentales:

1. Impulsar programas permanentes de capacitación y profesionalización de los maestros del sistema de educación media superior.
2. Revisar el marco reglamentario e instrumentar procesos de evaluación del sistema de educación media superior.
3. Fortalecer la vinculación entre el sistema de educación media superior y el sector productivo.
4. Impulsar una reforma curricular que promueva la competitividad y responda a las nuevas dinámicas sociales y productivas.
5. Consolidar un sistema articulado y flexible que permita la movilidad de los estudiantes entre los subsistemas.

Es por todo ello que el sistema educativo en México está volteando a ver a las “prepas” y esperando su consolidación, como un nivel educativo importante en la vida de todos. (Cruz, 2007)

Desde este punto de vista de la Reforma, se diseñan también otros planes para el fortalecimiento de la educación en el nivel medio superior, como son, el programa: Los Módulos del Mundo de los Materiales (MWM por sus siglas en inglés) que forma parte de un paquete de educación científica que se encuentra en etapa de crecimiento en los Estados Unidos de Norteamérica. Dichos módulos se han desarrollado en Northwestern University (NU), en un periodo de los últimos quince años, en donde un grupo de científicos y educadores dirigidos por el Prof. Robert

P. H. Chang se encargan de diseñarlos y capacitar a docentes para que sean a su vez impartidos y dados a conocer a alumnos del nivel medio superior.

El financiamiento principal provino de la National Science Foundation (NSF). El objetivo del proyecto es preparar mejor y motivar a los estudiantes de nivel bachillerato, para que más y mejores estudiantes cursen carreras técnicas y científicas.

Los principios de trabajo del sistema MWM son los siguientes:

- Enfoque interdisciplinario de educación en ciencias naturales y matemática.
- Aprendizaje activo, indagación y diseño.
- Trabajo de equipo.
- Desarrollo profesional de los maestros (textos, talleres, Internet).
- Paquetes experimentales accesibles. (CIMAV, )

## 2.- JUSTIFICACIÓN

En nuestro nivel educativo, el medio superior al igual que en los demás niveles, se vive un panorama difícil, dentro del cual el factor común es el bajo índice de aprovechamiento, y la elevada reprobación de las materias de ciencias y matemáticas, propiciando esto un panorama a futuro en el que los alumnos en edad de decidir por una carrera universitaria, elijan aquellas carreras profesionales del área de humanidades, por el temor o el desinterés de cursar materias de ciencias y matemáticas. Estas características se han analizado desde el año 2002, en donde se ha intentado revertir estas cifras tan alarmantes, y se han diseñado varias reformas para lograr este fin. En el nivel medio superior, se han efectuado varias reformas, iniciando con las materias de formación para el trabajo, que son netamente tecnológicas, y a partir del año 2008, se ha iniciado una reforma a las asignaturas académicas, se propone un modelo educativo basado en competencias, en el cual se pretende formar jóvenes con otras características, algunas de ellas es el fomentar el gusto por las ciencias.

Así pues al analizar esta reforma, se plantea el desarrollo de este Folleto didáctico, en el tema de la cristalografía, perteneciente al área de la Química, y siendo un tema que no es común al currículo de los alumnos de bachillerato, y que es indispensable cursar en las asignaturas del nivel superior, en las carreras de ciencias y tecnología. Dicho folleto se crea con la expectativa de crear interés en la ciencia experimental, y motivar el desarrollo de las competencias disciplinares básicas del área. Su diseño, plantea además el fortalecer varias competencias genéricas en los alumnos, y fortalecer el aprendizaje significativo, acercar a los alumnos al mundo de las ciencias experimentales, que aprecien que la ciencia no es cosa de otro mundo, sino que la tienen al alcance, y se utiliza de forma cotidiana en la vida diaria. También se pretende utilizar como factor a favor el uso de la tecnología, aspecto en el que los jóvenes se mueven de forma muy natural. Al combinar los recursos tanto escritos como elaborados por medio electrónicos, el uso de presentaciones multimedia, o el trabajar por medio de alguna secuencia didáctica, para integrar un tema como lo son las Webquest.

Es una tarea ardua, pero no imposible, el generar en los alumnos el interés por la ciencia al producir material didáctico adecuado para tal fin, valiéndonos de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación.

### 3.- PROBLEMÁTICA

En nuestro sistema educativo, el método de aprendizaje que se maneja habitualmente es el modelo tradicionalista, es por esta razón que la Reforma Integral de la Educación Media Superior, se ha dado a la tarea de proponer un nuevo modelo educativo basado en competencias. Por tal razón se necesita cambiar esta forma tradicionalista, por una educación en la que el centro del proceso de enseñanza – aprendizaje sea el alumno, y sus necesidades para aprender, un modelo educativo en el cuál, el trabajo y la práctica que realiza el alumno con el material de aprendizaje, sea lo que le ayude a construir su propio conocimiento significativo, este aprendizaje lo construye el alumno al relacionar, organizar, estructurar e integrar los nuevos conocimientos en sus esquemas intelectuales. Se pretende desterrar la memorización del conocimiento y propiciar en las prácticas docentes, estrategias didácticas novedosas y que ubiquen el nuevo conocimiento en la realidad del alumno.

Por tal motivo con este proyecto, a través de las estrategias didácticas que se pondrán en práctica, se pretende aportar a los jóvenes las herramientas básicas para que puedan ser competentes en el área de química en el tema de “introducción a la cristalografía”, y en un futuro cercano puedan ser competitivos profesionalmente.

Otro aspecto importante para realizar este proyecto es el gran desinterés que manifiestan los estudiantes por los temas científicos, y tecnológicos, y estos temas muestran un alto índice de reprobación, o bajos niveles de aprovechamiento. Esto produce no solo la reprobación, sino que se manifiesta en los alumnos una baja de motivación, por lo cual en el momento de elegir una carrera profesional, se deciden por aquellas carreras del área de humanidades, dejando de lado las carreras profesionales o técnicas que impliquen el dominio de conocimiento y competencias de estas áreas curriculares. Se necesita un cambio y este se manifiesta en la Reforma Integral de la Educación Media Superior, para el buen desarrollo tecnológico y científico que los tiempos actuales exigen, que se atienda esta nociva actitud por el estudio de la ciencia natural y la matemática en las escuelas.

Es necesario pues producir materiales didácticos que propicien el gusto por la ciencia, y que les permita ver a los alumnos que no son asignaturas difíciles, y en realidad se manifiestan dentro de nuestra realidad. Producir así generaciones motivadas para aprender ciencia y generar las nuevas tecnologías.

## **4.- OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Basándonos en los objetivos de la Reforma Integral de la Educación Media Superior, propiciando estrategias para combatir la problemática de nuestro medio y desarrollando el trabajo de los alumnos basado en competencias. Implementando el presente trabajo, que se realiza de acuerdo a los requerimientos de los programas educativos se pretende lograr en los alumnos al término de este periodo lo siguiente:

- Desarrollar el material didáctico adecuado para que el alumno obtenga un aprendizaje significativo en los diversos temas de la cristalografía propuestos en el folleto, apoyados en los fundamentos pedagógicos y disciplinares. Y de esta forma desarrollar actitudes e intereses en ellos para favorecer el conocimiento científico.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Proporcionar a los alumnos del nivel medio superior las herramientas básicas necesarias para que se pueda apropiarse de los conceptos básicos del tema “la cristalografía” y a través de ellos pueda utilizar y comprender la importancia de los conceptos teóricos, las aplicaciones estructurales, y las propiedades físicas y químicas de la materia en el estado sólido.
- Propiciar que el alumno manipule y produzca conocimiento propio al realizar las actividades experimentales que se presentan en el folleto didáctico, diseñadas para que el joven sienta que está haciendo ciencia, y observe que la ciencia es parte de su vida diaria.
- Elaboración de diversos materiales como apoyo didáctico, como actividades experimentales, ejercicios escritos, material en medios electrónicos como webquest, necesarios para diversificar los métodos de aprendizaje y lograr el conocimiento significativo en los alumnos.

- Propiciar en el alumno el desarrollo de las competencias disciplinares básicas, partiendo de las competencias genéricas, y que sirvan para su desarrollo personal y académico.
- Motivar positivamente al alumno para que se desarrolle el agrado por las asignaturas de ciencias y las matemáticas, propiciando el aumento en los porcentajes de aprovechamiento académico, eliminar el índice de reprobación, y evitar con esto la deserción escolar.
- Permitir a largo plazo el incremento de la matrícula en las carreras profesionales de ciencia y tecnología.

## 5.- DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Este proyecto que se presenta es la elaboración de un folleto didáctico, con el fin de facilitar el aprendizaje, y propiciar la motivación y el interés de los alumnos por las asignaturas de ciencias y de matemáticas. El folleto se encuentra diseñado estructuralmente de acuerdo a un programa determinado ubicando los conceptos básicos de la Cristalografía, y de acuerdo al enfoque propio al nivel educativo, relacionando actividades de apertura, desarrollo, e integración para cada uno de los subtemas, además de contar con actividades experimentales, ejercicios de evaluación y actividades de integración de temas, elaborados por medios electrónicos, como son las Webquest. La estructuración se observa de la siguiente manera:

- Cuenta con el material teórico necesario para proporcionar los conceptos básicos de la cristalografía y por medio del cual el docente puede utilizar de acuerdo a los requerimientos de su clase
- Imágenes impresas para que al alumno le sea más fácil la visualización de los arreglos estructurales de la materia, y pueda comprender los conceptos abstractos, ejemplificándolos con aspectos cotidianos.
- Actividades experimentales sencillas, en la cuales el alumno al desarrollarlas, debe realizar una serie de actividades de análisis y retroalimentación del tema, en donde el joven debe realizar una investigación bibliográfica, realización del procedimiento de la actividad, análisis del procedimiento y de los resultados obtenidos, para llegar a una serie de conclusiones personales, que lo posicionaran de un aprendizaje propio y significativo sobre el tema analizado.
- Presenta ejercicios impresos, útiles para diagnosticar y evaluar el conocimiento logrado por los estudiantes, proporcionando así al maestro un instrumento para poder retroalimentar el tema.
- Incluye varios enlaces a páginas web, propias del tema, presentando como actividades de integración, instrumentos electrónicos como las webquest diseñadas específicamente para este proyecto, en donde los alumnos deben desarrollar las habilidades, actitudes, aptitudes y el conocimiento adquirido, poniendo así en práctica el uso de las NTIC's.

### **III.- FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS Y DISCIPLINARES**

#### **1.- Fundamentos Pedagógicos**

Este folleto didáctico basado en el nuevo modelo educativo, cimentado en las competencias educativas, y propuesto por la Reforma Integral de la Educación Media Superior se sustenta en las teorías de aprendizaje de algunos autores:

Del análisis de las características de la oferta de educación media superior en el país y de la población en edad de cursarla, así como de los cambios que se han desarrollado en este nivel en años recientes y los que se observan en el mundo se desprende la siguiente propuesta curricular, la cual tiene como objeto la creación de un Sistema Nacional de Bachillerato en un marco de diversidad. Este sistema busca fortalecer la identidad del nivel en un horizonte de mediano plazo, al identificar con claridad sus objetivos formativos compartidos, que ofrezca opciones pertinentes y relevantes a los estudiantes, con métodos y recursos modernos para el aprendizaje y con mecanismos de evaluación que contribuyan a la calidad educativa, dentro de un marco de integración curricular que potencie los beneficios de la diversidad. Para ello se proponen tres principios básicos que deben estar en la base de un consenso global:

- Reconocimiento universal de todas las modalidades y subsistemas del bachillerato
- Pertinencia y relevancia de los planes de estudio
- Tránsito entre subsistemas y escuelas

Es indispensable establecer las condiciones mínimas que las reformas deben asegurar. Este es el sentido de los principios básicos que se explican a través del modelo educativo que propone la Reforma, se encuentra basado en varias teorías del aprendizaje, que proporcionan varios pedagogos, sicólogos, y personajes eruditos en el tema.

La Teoría del Aprendizaje Significativo fue propuesta por David Ausubel trata sobre como los docentes, poseedores de conocimientos debemos propiciar cambios en nuestras estrategias didácticas que nos permitan desenvolvernos

dentro de nuestras aulas, de manera que propiciemos en nuestros alumnos aprendizajes realmente significativos y que promuevan la evolución de sus estructuras cognitivas. Dice que Aprender es sinónimo de comprender.

El aprendizaje va más allá de un simple cambio de conducta, conduce a un cambio en el significado de la experiencia, no solo el pensamiento también la afectividad.

Ausubel en su teoría del aprendizaje significativo plantea que el aprendizaje del alumno depende de la estructura cognitiva previa que se relaciona con la nueva información que se le proporciona considerándolo como conocimiento, en donde el mismo alumno lo organiza cognitivamente. Un aprendizaje es significativo cuando los contenidos: Son relacionados de modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el alumno ya sabe, como una imagen un símbolo ya significativo, un concepto o una proposición.

Esto quiere decir que en el proceso educativo, es importante considerar lo que el individuo ya sabe de tal manera que establezca una relación con aquello que debe aprender<sup>1</sup>. (Ausubel, 1983).

Otra teoría es la de Jean Piaget, en la cual menciona que el sujeto a medida de que crece será capaz de ir resolviendo sus situaciones a través de estructuras lógicas, y que construye su conocimiento a medida que interactúa con la realidad. Piaget dice además que el rol del docente en el aula debería ser básicamente un guía y orientador del proceso de enseñanza y aprendizaje, él por su formación y experiencia conoce que habilidades que requieren los alumnos según el nivel en que se desempeñe, para ello deben plantearles distintas situaciones problemáticas que los perturben y desequilibren.

En síntesis, las principales metas de la educación en general y la de los docentes en particular son: en principio crear hombres que sean capaces de crear cosas nuevas, hombres creadores e inventores; la segunda meta es la de formar mentes que estén en condiciones de poder criticar, verificar y no aceptar todo lo que se le expone. Esto, en la sociedad actual, es muy importante ya que los peligros son, entre otros, caer en la cultura de los slogans o en las opiniones colectivas y el pensamiento dirigido. En consecuencia es necesario formar alumnos activos, que aprendan pronto a investigar por sus propios medios, teniendo siempre presente

---

<sup>1</sup> <http://www.monografias.com/trabajos10/dapa/dapa.shtml>

que las adquisiciones y descubrimientos realizadas por si mismo son mucho más enriquecedoras y productivas<sup>2</sup>. (Piaget, 1983).

Aunado al sustento pedagógico de la Reforma Integral de la Educación Media Superior, Vygotsky presenta otra teoría del aprendizaje, esta se basa principalmente en el aprendizaje sociocultural de cada individuo y por lo tanto en el medio en el cual se desarrolla. Aprendizaje y desarrollo son dos procesos que interactúan. El aprendizaje escolar ha de ser congruente con el nivel de desarrollo del niño. El aprendizaje se produce más fácilmente en situaciones colectivas. La interacción con los padres facilita el aprendizaje. “La única buena enseñanza es la que se adelanta al desarrollo”.

La teoría de Vigotsky se refiere, a como el ser humano ya trae consigo un código genético o 'línea natural del desarrollo' también llamado código cerrado, la cual está en función de aprendizaje, en el momento que el individuo interactúa con el medio ambiente. Su teoría toma en cuenta la interacción sociocultural. No podemos decir que el individuo se constituye de un aislamiento. Más bien de una interacción, donde influyen mediadores que guían al niño a desarrollar sus capacidades cognitivas. Para Vygotsky, el desarrollo de las funciones psicológicas superiores se da primero en el plano social y después en el nivel individual<sup>3</sup>. (Vygotsky, 1999).

También hablaremos de la Teoría de Jerome Seymour Bruner, menciona que toda teoría de instrucción debe tener en cuenta los siguientes cuatro aspectos:

- 1) la predisposición hacia el aprendizaje
- 2) el modo en que un conjunto de conocimientos puede estructurarse de modo que sea interiorizado lo mejor posible por el estudiante.
- 3) las secuencias más efectivas para presentar un material
- 4) la naturaleza de los premios y castigos

Bruner menciona las implicaciones en la educación, y más específicamente en la pedagogía:

Aprendizaje por descubrimiento: el instructor debe motivar a los estudiantes a que ellos mismos descubran relaciones entre conceptos y construyan proposiciones

- Diálogo activo: el instructor y el estudiante deben involucrarse en un diálogo activo (p.ej., aprendizaje socrático)

---

<sup>2</sup> <http://www.monografias.com/trabajos16/teorias-piaget/teorias-piaget.shtml>

<sup>3</sup> <http://www.monografias.com/trabajos14/vigotsky/vigotsky.shtml>

- Formato adecuado de la información: el instructor debe encargarse de que la información con la que el estudiante interactúa esté en un formato apropiado para su estructura cognitiva
- Currículo espiral: el currículo debe organizarse de forma espiral, es decir, trabajando periódicamente los mismos contenidos, cada vez con mayor profundidad. Esto para que el estudiante continuamente modifique las representaciones mentales que ha venido construyendo
- Extrapolación y llenado de vacíos: La instrucción debe diseñarse para hacer énfasis en las habilidades de extrapolación y llenado de vacíos en los temas por parte del estudiante
- Primero la estructura: enseñarle a los estudiantes primero la estructura o patrones de lo que están aprendiendo, y después concentrarse en los hechos y figuras<sup>4</sup>. (Bruner, 1965-90).

Otro soporte basado en las teorías de aprendizaje es el Enfoque sintáctico: La teoría ACT de Anderson.

El ACT es una teoría unitaria del procesamiento de la información. La idea básica que subyace a la teoría es los mecanismos de aprendizaje están estrechamente relacionados con el resto de los procesos, especialmente con la forma en que se presenta la información en el sistema.

"Todos los procesos cognitivos superiores, como memoria, lenguaje, solución de problemas, imágenes, deducción e inducción son manifestaciones diferentes de un mismo sistema subyacente." (Anderson, 1983. pág. 1).

El ACT es un sistema de procesamiento compuesto por tres memoras relacionadas, que interactúan entre sí: una memoria declarativa, que contiene conocimientos descriptivos sobre el mundo; una memoria de producciones o procedural, que contiene información para la ejecución de las destrezas que posee el sistema y una memoria de trabajo. Las memorias declarativa y procedural almacenan dos tipos distintos de conocimiento que se corresponden con la distinción filosófica entre el "saber qué" declarativo y el "saber cómo" procedural.

La memoria declarativa está organizada en forma de red jerárquica, compuesta por "unidades cognitivas" o nodos y eslabones entre esos nodos. El conocimiento declarativo es estable y normalmente inactivo. Sólo los nodos que se hallan activados en la memoria de trabajo tendrán influencia sobre el conocimiento procedural.

---

<sup>4</sup> <http://elcentro.uniandes.edu.co/equipo/miembros/anfore/bruner.htm>

El concepto de activación es central en el ATC. La activación puede proceder bien de los estímulos externos o bien del propio sistema, como consecuencia de la ejecución de una acción. El proceso de activación es continuo. La memoria de trabajo tiene una capacidad limitada, lo que limita también el número de nodos que pueden estar activos simultáneamente, accediendo aquellos que tengan mayor fuerza de activación.

"La activación cumple en el ACT la función de un heurístico asociativo relevante. Es decir, la activación mide lo estrechamente asociada que una pieza de información está con respecto a la información actualmente usada". (Anderson, 1983. pág. 27).

La memoria procedural se basa en los sistemas de producción. La idea básica de estos sistemas es que el conocimiento se almacena en forma de producciones o pares condición-acción. Las producciones adoptan la forma de un condicional "sí... entonces...". Las producciones no suelen almacenarse aisladamente. Para que el conocimiento que contiene sea eficaz, deben encadenarse unas a otras, de tal forma que la acción de una producción satisfaga la condición de la siguiente<sup>5</sup>. (Anderson, 1982 y 1983).

La educación es la única vía por la que puede asegurarse el desarrollo y el crecimiento de un país y los maestros ocupamos un lugar clave en la sociedad por lo que tenemos una gran responsabilidad y una oportunidad única de trascender. Ser maestro hoy en día implica infundir en los educandos el deseo de "aprender a aprender" para lograr Ser El modelo educativo de la UNESCO nos presenta un ejemplo de cómo los sistemas educativos a nivel mundial se sostienen en los siguientes pilares: Aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a convivir, aprender a ser.

Nuevamente es la persona el centro de atención como capital humano después de que el avance tecnológico sin dirección ética nos ha dado ejemplos con resultados devastadores. En nuestro país se ha establecido un cambio en los programas del sistema educativo para favorecer estos principios.

Hoy más que nunca, es necesaria la profesionalización de los líderes educativos para que apoyen a sus alumnos en el descubrimiento de sus propias capacidades y desarrollen habilidades que favorezcan el bien común impactando positivamente a la sociedad. Basándonos en las teorías del aprendizaje de los autores anteriormente descritos, la Reforma Integral de la Educación Media Superior

---

<sup>5</sup> <http://www.monografias.com/trabajos5/teap/teap2.shtml>

plantea pues un modelo educativo basado en competencias, en el cual se incluyen las anteriores teorías del aprendizaje.

Para construir el perfil básico de la educación media superior nos valemos, fundamentalmente, del término competencias. Este concepto permite superar el hecho de que los planes de estudio actuales están estructurados en torno a unidades de agrupación del conocimiento muy diversas: objetivos de aprendizaje, disciplinas, asignaturas, ejes transversales, temarios, unidades didácticas, módulos, entre otros.

Las competencias son la unidad común para establecer los mínimos requeridos para obtener el certificado de bachillerato sin que las instituciones renuncien a su particular forma de organización curricular. Además de permitirnos definir en una unidad común los conocimientos, habilidades y actitudes que el egresado debe poseer, sería posible la convivencia de estructuras curriculares y planes de estudio diversos; asimismo se facilitaría ubicar patrones y perfiles compartidos para el reconocimiento de equivalencias y certificaciones conjuntas. En un documento de la ANUIES se definen las competencias como:

*“Conjunto de conocimientos, habilidades y destrezas, tanto específicas como transversales, que debe reunir un titulado para satisfacer plenamente las exigencias sociales. Fomentar las competencias es el objetivo de los programas educativos. Las competencias son capacidades que la persona desarrolla en forma gradual y a lo largo de todo el proceso educativo y son evaluadas en diferentes etapas. Pueden estar divididas en competencias relacionadas con la formación profesional en general (competencias genéricas) o con un área de conocimiento (específicas de un campo de estudio)”.*

Otra definición que vale la pena traer a colación es la de la OCDE:

*“Una competencia es más que conocimiento y habilidades. Implica la capacidad de responder a demandas complejas, utilizando y movilizándolo recursos psicosociales (incluyendo habilidades y actitudes) en un contexto particular”.*

Aristóteles clasifica los saberes en teóricos, prácticos, y poéticos o productivos. El objeto de los primeros es la verdad, el de los segundos es determinar la acción encaminada a un fin y el de los terceros es la producción exterior de un objeto. Es obvio que los tres tipos de saberes exigen competencias: para reflexionar y expresar, para orientar la práctica, para producir. (Perronoud, 2004)

Las competencias orientan la intervención educativa al logro de capacidades en el aprendiz y a conseguir que paulatinamente el alumno adquiriera niveles superiores de desempeño. Esta perspectiva no se refiere únicamente a desempeños manuales, operativos, como algunos de los que serían requeridos en el ámbito de la educación tecnológica. Se incluyen las competencias lingüísticas, esenciales para la comunicación humana; las habilidades sociales, de cuidado de sí mismos, y las competencias morales que permiten el desarrollo personal y la convivencia armónica; las competencias también hacen referencia a las habilidades de pensamiento de orden superior, a la resolución de problemas no sólo prácticos, también teóricos, científicos y filosóficos. Sería de gran estrechez concebir la educación orientada a competencias como una sólo de corte tecnológico.

Por su relevancia en el ámbito pedagógico, nos parece indispensable citar a Perrenoud, para quien la competencia es una *“capacidad de movilizar recursos cognitivos para hacer frente a un tipo de situaciones”*, a lo que agrega que: *“las competencias no son en sí mismas conocimientos, habilidades o actitudes, aunque movilizan, integran, orquestan tales recursos”, además de que “el ejercicio de la competencia pasa por operaciones mentales complejas, sostenidas por esquemas de pensamiento, los cuales permiten determinar (más o menos de un modo consciente y rápido) y realizar (más o menos de un modo eficaz) una acción relativamente adaptada a la situación”*.

Aunque en la formulación de planes de estudio, los conocimientos, habilidades y actitudes se enuncian por separado, el aprendizaje significativo por parte de los alumnos demanda su integración en la solución de situaciones problemáticas. A su vez, el desempeño en situaciones específicas, reales o hipotéticas, exige la movilización integrada de lo que se aprende en la escuela. Podría decirse que el uso del concepto competencias, proveniente de la educación tecnológica, se encontró con un medio educativo fértil como resultado de la creciente influencia del constructivismo en la educación general.

El enfoque de competencias considera que los conocimientos por sí mismos no son lo más importante sino el uso que se hace de ellos en situaciones específicas de la vida personal, social y profesional. De este modo, las competencias requieren una base sólida de conocimientos y ciertas habilidades, los cuales se integran para un mismo propósito en un determinado contexto. Los planes de estudio que adopten el enfoque en competencias no menospreciarán la adquisición de conocimientos, pero sí enfatizarán su importancia como un recurso fundamental en la formación de los estudiantes. Un planteamiento de esta

naturaleza es sumamente proclive a desarrollarse en el marco de una perspectiva constructivista de la enseñanza, que elimina de las prácticas educativas la memorización no significativa, favorece el aprendizaje basado en resolución de problemas, que parte de su identificación y la aplicación de las herramientas necesarias para su resolución. Además confiere un papel sumamente importante al desarrollo de capacidades de aprendizaje autónomo y se nutre fuertemente del trabajo colaborativo.

En el tradicional enfoque conductista se concibe que el conocimiento viene de fuera, que el experto lo transfiere al aprendiz. Ahora sabemos que en el proceso de aprender, las personas construyen sus propias representaciones simbólicas de los conocimientos. Que el aprendizaje significa la reorganización de estructuras cognitivas, proceso enriquecido por la demanda de tareas diversas y las experiencias educativas. Para el enfoque de competencias, como para el constructivismo, es más importante la calidad del proceso de aprendizaje que la cantidad de datos memorizados. En todo caso, la sociedad contemporánea se caracteriza, entre otras cosas, por el cúmulo de información creciente y disponible en diversos medios. Los estudiantes eficaces deberán ser capaces no tanto de almacenar los conocimientos sino de saber dónde y cómo buscarlos y procesarlos. En ese sentido, el enfoque de competencias, amarrado al constructivismo, puede enriquecer la calidad de la educación al engarzar los propósitos educativos con los métodos para alcanzarlos. Si bien es cierto que la incorporación del término competencias al campo de la educación tiene su primera expresión en la formación profesional y tecnológica, su utilización se ha extendido a la educación en general, particularmente a la educación básica.

Las competencias, inician en el ámbito laboral, en donde debido al vínculo constante del sector productivo con el sistema educativo el cual no puede estar separado del contexto regional, nacional e internacional, el gobierno de México propicia el día 02 de agosto del año 1995 con el llamado Consejo de Normalización y Certificación de Competencia Laboral, que queda implementado como Sistema de Normalización de Competencia Laboral (SNCL) y Sistema de Certificación de Competencia Laboral (SCCL). Surgiendo el Programa de Modernización de la Educación Técnica y la Capacitación (PMETyC), suscrito por los secretarios de Educación Pública y del Trabajo y Previsión Social. Que habla sobre “los lineamientos generales, aplicables en toda la república para la definición de aquellos conocimientos, habilidades o destrezas susceptibles de certificación, así como de los procedimientos de evaluación correspondientes”. (LGE, art.45).

Este programa se vincula actualmente con el Programa Nacional de Educación 2001-2006 al considerar este último un componente de formación profesional, acorde con la dinámica de los sectores productivos y que tome en consideración el enfoque de competencias laborales, lo cual corresponde con las siguientes características pedagógicas del enfoque de educación basada en normas técnicas de competencia laboral:

- Enseñanza centrada en el aprendizaje
- Privilegiada el aprender haciendo reconstruyendo la relación entre la práctica y la teoría
- Atender diferentes estilos y ritmos de aprendizaje
- Propuesta de una oferta educativa flexible
- Énfasis en los resultados
- Vinculación con la planta productiva
- Certificación con pleno reconocimiento social

De acuerdo con lo anterior, la educación basada en normas de competencia laboral, facilita que el estudiante tenga posibilidad de certificar la competencia adquirida mediante un proceso de evaluación externo y voluntario a cada estudiante.

La Norma Técnica de Competencia describe lo que una persona es capaz de hacer, la forma en que puede juzgarse, las condiciones en que la persona debe mostrar su aptitud y refleja los conocimientos y habilidades que se requieren para un desempeño eficiente de la función laboral, así como la habilidad de transferir la competencia de una situación de trabajo. (DGB, 2002).

Los desempeños terminales que el egresado del bachillerato debe alcanzar, mediante la existencia de distintos planes de estudio con un Marco Curricular Común, es delimitado por tres conjuntos de competencias y conocimientos a desarrollar:

### *Competencias genéricas*

Entendemos las competencias genéricas como aquellas que todos los bachilleres deben estar en capacidad de desempeñar, las que les permiten comprender el mundo e influir en él, les capacitan para continuar aprendiendo de forma autónoma a lo largo de sus vidas, y para desarrollar relaciones armónicas con quienes les rodean y participar eficazmente en su vida social, profesional y política

a lo largo de la vida. Dada su importancia, las competencias genéricas se identifican también como competencias clave. Otra de las características de las competencias genéricas es que son transversales: no se restringen a un campo específico del saber ni del quehacer profesional; su desarrollo no se limita a un campo disciplinar, asignatura o módulo de estudios. La transversalidad se entiende como la pertinencia y exigencia de su desarrollo en todos los campos en los que se organice el plan de estudios. Además, las competencias genéricas son transferibles, en tanto que refuerzan la capacidad de los estudiantes de adquirir otras competencias, ya sean genéricas o disciplinares.

<b>Categorías</b>	<b>Competencias</b>
<b>Se autodetermina y cuida de sí</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Se conoce y valora a sí mismo y aborda problemas y retos teniendo en cuenta los objetivos que persigue.</i></li> <li>2. <i>Es sensible al arte y participa en la apreciación e interpretación de sus expresiones en distintos géneros.</i></li> <li>3. <i>Elige y practica estilos de vida saludables.</i></li> </ol>
<b>Se expresa y se comunica</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. <i>Escucha, interpreta y emite mensajes pertinentes en distintos contextos mediante la utilización de medios, códigos y herramientas apropiados.</i></li> </ol>
<b>Piensa crítica y reflexivamente</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. <i>Desarrolla innovaciones y propone soluciones a problemas a partir de métodos establecidos.</i></li> <li>6. <i>Sustenta una postura personal sobre temas de interés y relevancia general, considerando otros puntos de vista de manera crítica y reflexiva.</i></li> </ol>
<b>Aprende de forma autónoma</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. <i>Aprende por iniciativa e interés propio a lo largo de la vida.</i></li> </ol>
<b>Trabaja en forma colaborativa</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. <i>Participa y colabora de manera efectiva en equipos diversos.</i></li> </ol>

<p><b>Participa con responsabilidad en la sociedad</b></p>	<p>9. <i>Participa con una conciencia cívica y ética en la vida de su comunidad, región, México y el mundo.</i></p> <p>10. <i>Mantiene una actitud respetuosa hacia la interculturalidad y la diversidad de creencias, valores, ideas y prácticas sociales.</i></p> <p>11. <i>Contribuye al desarrollo sustentable de manera crítica, con acciones responsables.</i></p>
--	--

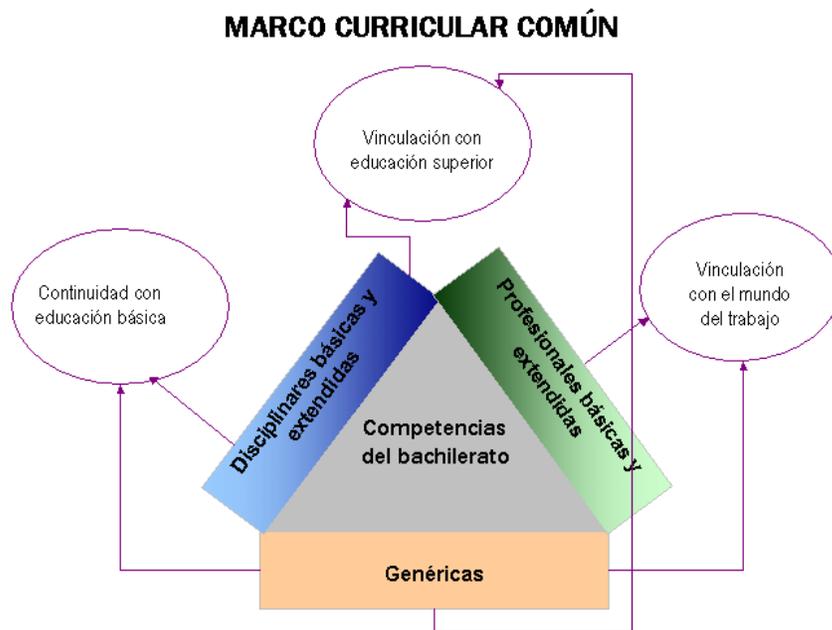
### *Competencias y conocimientos disciplinares*

Una competencia podría requerir movilizar ciertos conocimientos y procedimientos proporcionados por una o varias disciplinas. En ello radica precisamente la complejidad y riqueza de una competencia, en su carácter integrador. De la misma manera, un cierto conocimiento puede ser requerido para desempeñarse adecuadamente en situaciones de distinto orden. Así pues, las competencias y los conocimientos que aportan las disciplinas están relacionados. Las competencias se caracterizan por demandar la integración de conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para la resolución de un problema teórico o práctico. Las competencias requieren para su realización de los conocimientos, pero no se limitan a ellos. Hay dos niveles de complejidad para las competencias disciplinares: básico y extendido. El núcleo básico estaría compuesto por los conocimientos que todos los alumnos, independientemente de su futura trayectoria académica o profesional, tendrían que dominar. Las competencias extendidas implicarían niveles de complejidad deseables para quienes optaran por una determinada disciplina o campo laboral.

### *Competencias profesionales*

Las competencias profesionales son aquellas que se refieren a un campo del quehacer laboral. Se trata del uso particular del enfoque de competencias aplicado al campo profesional.

De esta forma podemos decir en pocas palabras lo siguiente (DGB, 2008)



*Enfoques Disciplinarios del Bachillerato*

Al examinar estos nuevos enfoques disciplinarios, observamos que son consecuencia de las modificaciones culturales de nuestro

Si la ciencia crece y se reestructura con rapidez y si el Bachillerato se propone fomentar la adquisición de conocimiento actual y socialmente útil, es obvio que debe resolver un problema de jerarquización y selección es ilusorio, y hasta malsano, proponerse enseñar al alumno todo, incluso si por todo se entienden nociones introductorias de todas las ciencias. No es hoy ventajoso el enciclopedismo. Debemos preguntarnos más bien qué del saber humano rendirá más ampliamente y durante más tiempo a los alumnos que lo aprenden obligatoriamente ahora. Hay sin duda conocimientos imprescindibles de cuya posesión dependen zonas amplias en cada ciencia. Prioritarias serán, sin embargo, las habilidades, es decir, disposiciones o capacidades de operar para comprender e interpretar objetos de los distintos saberes y transferir lo aprendido a otros problemas, a otros campos.

Estas habilidades se sitúan en planos que pueden ordenarse según la generalidad de su aplicación.

### *1. Procedimientos de trabajo intelectual.*

Si el Bachillerato prepara para la licenciatura, deben en él adquirirse los instrumentos de trabajo intelectual que permitirán al alumno aprovechar los estudios superiores.

Un inventario somero de los componentes de esta primaria cultura escolar incluirá, como puede suponerse, sobre todo habilidades: la capacidad de leer con rapidez y de comprender diversos tipos de discursos (científicos, literarios, históricos, políticos, entre otros); de utilizar diccionarios diversos y obras de consulta; de informarse en bibliotecas y bancos de datos, lo que supone habilidades subordinadas de consultar ficheros, de seleccionar lecturas, de manejar libros con eficacia a partir de la información que contienen sus para textos: índices, solapas, fechas, introducciones; de tomar notas, de resumir y de esquematizar los contenidos de las lecturas y de las diversas modalidades de la exposición oral; de elaborar fichas de contenidos, reseñas y ensayos; de comprender cuadros estadísticos y de elaborarlos; de manejar los principales códigos retóricos para la producción de escritos escolares en primera instancia y de uso práctico en la convivencia social y civil en segunda, etc.

Para todas estas destrezas las que se refieren a la lectura y la escritura constituyen una verdadera columna vertebral. El entrenar a los alumnos en ellas al comienzo del ciclo de bachillerato, facilitará que puedan rendir sus frutos de inmediato, en el transcurso del mismo.

### *2. Formas de trabajo específico en los distintos campos del saber.*

En un segundo nivel, habilidades más específicas permitirán al alumno aprender más de cada ciencia. Los procedimientos de estudio que tomen en cuenta tanto la naturaleza de cada campo el saber cómo los medios materiales en los que resulta accesible en concreto al estudiante.

En efecto, no estudiamos del mismo modo matemáticas y literatura, ni vale la pena pretender enseñar historia a través del examen de documentos originales, cuando los alumnos no tienen a disposición cómodamente ni uno solo de estos.

Aprender a aprender equivale en este nivel a aprender a estudiar y a esta habilidad deberíamos dedicar trabajo organizado y constante en todas las materias. La experiencia del profesor, sus procedimientos personales de trabajo probados y aquilatados, representan aquí una riqueza que, entre otros factores, lo hacen ascender de Profesor a Maestro, el que no sólo dice lo que conoce, sino lo que ha constituido para él vida intelectual y sabiduría.

### 3. *Los métodos.*

El aprendizaje o el estudio pueden ir más allá de la recreación cultural que significa el estudio, a la resolución de problemas. Esta supone formas variadas de investigación, es decir, de recopilación de datos, por medios documentales, experimentales o de campo, que permitan responder a una pregunta, dilucidar una disyuntiva en el conocimiento. Los métodos no pueden aprenderse sin un material en el cual se apliquen, sin problemas reales, acordes al saber y al hacer de los alumnos. Es inútil descubrir acerca del método en historia, si los alumnos no conocen ni un solo proceso en el cual ejercitar sus instrumentos de análisis.

En conclusión, la enseñanza de los métodos, el histórico y el experimental, en particular, debería seguir orientaciones como éstas:

1. La enseñanza de los métodos y de los procedimientos de trabajo correspondientes no constituye un tema particular que absuelva como parte de una serie de contenidos.
2. Los métodos tampoco constituyen una materia específica, ni pueden reducirse a un estudio abstracto, el del método científico. Son científicos muchos métodos, los de la gran variedad de ciencias, diversos entre sí, limitados y útiles a la vez.
3. Finalmente la enseñanza de los métodos aprovecha, a condición de no ser meramente teórica. Ello se logra cuando explica las categorías e instrumentos conceptuales necesarios, plantea problemas proporcionados a las capacidades sucesivas de los alumnos y desarrolla procesos de investigación completos en los cuales, progresivamente, se acentúan los distintos momentos del trabajo de investigación, experimental en el laboratorio, bibliográfica o de campo: las maneras de definir un problema, de formular hipótesis, de establecer marcos conceptuales, de verificar, de evaluar los resultados y de discutirlos, de comunicar lo aprendido.

### **Ciencias Experimentales.**

Desde luego sabemos el déficit de ciencia que sufre nuestro país y nada será bastante para acrecentar la masa y la actualidad de conocimientos que como nación nos debemos en Física, Química o Biología, pero también en Psicología y en Semiótica.

Sin embargo, el Bachillerato debe desarrollar ante todo y en todos los alumnos, no sólo en quienes en números crecientes conviene fomentar vocaciones de ciencia y

de investigación, una mentalidad o actitudes científicas. Así, la enseñanza de las ciencias naturales debe incluir la experimentación, no las prácticas ejecutadas como repetición de programas cuyo resultado inevitable se conoce o se espera, sino trabajo de investigación entendido como el planteamiento de problemas y la búsqueda racional y sistemática de las respuestas. Experiencias semejantes son deseables en las demás ciencias.

Si nos proponemos ante todo enseñar las formas y métodos del trabajo intelectual, las actitudes de ciencia y de investigación, la capacidad de juicio crítico, el sujeto del saber y del aprender, el alumno ocupará un lugar central en el trabajo de clase. Convienen así a esta perspectiva métodos didácticos de corte activo, el ejercicio de solución de problemas, la discusión informada, la participación. (Bazán, 1991).

El modelo, propuesto por Marzano (1997), en el que se puede basar el desarrollo de un curso, permite mantener la atención en el aprendizaje, estudiar ese proceso, y planear la instrucción y tareas. No es un modelo único, pero es una herramienta poderosa con la cual se puede asegurar que "aprender" es el centro de lo que se quiere realizar con los alumnos. Se basa en cinco dimensiones de aprendizaje, y son las siguientes:

Dimensión 1. Actitudes y percepciones.

Dimensión 2. Adquisición e integración del conocimiento.

Dimensión 3. Extender y refinar el conocimiento.

Dimensión 4. Utilizar el conocimiento significativamente.

Dimensión 5. Hábitos mentales productivos.

Se asume que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) deben insertarse en el mundo educativo a través de su presencia en las escuelas. Enormes esfuerzos se han hecho para integrarlas, ya sea a través de programas gubernamentales o de esfuerzos privados, todos ellos orientados a dotar a las escuelas de recursos materiales y humanos (especialmente a través de la capacitación), de manera que redunden en ostensibles mejoras de los procesos de enseñanza-aprendizaje, el manejo de ellas por nuestros alumnos es imprescindible, para estar a la par del desarrollo, por este motivo, dentro del proyecto se manejan las Nuevas Tecnologías de la Información y la comunicación (Peña, 2007.).

## 2.- Fundamentos Disciplinarios

La Cristalografía ha sido, y es, es una de las disciplinas científicas más decisivas para el avance de la Química y cuya influencia es indudable para el impulso de la Biología, de la Bioquímica y de la Biomedicina. Se presenta, cronológicamente, unas breves reseñas biográficas, La introducción de estos personajes se ha distribuido en conjuntos cronológicos.

### **Wilhelm Conrad Röntgen 1901**

Nada de esto habría sido posible sin la aparición de Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), primer Premio Nobel de Física (1901), por su descubrimiento de los rayos X. Su descubrimiento vio la luz a sus 50 años (noviembre de 1895), tras algunos experimentos con los rayos catódicos y gracias a la circunstancia, casi fortuita, de que una lámina de cartón (impregnada en cianuro de Pt-Ba) mostrara una fluorescencia totalmente inesperada. Sin embargo, debieron pasar bastantes años hasta que su "increíble luz" fuera reconocida como de interés médico, e incluso le reportara el máximo galardón del primer Premio Nobel de Física de 1901. Wilhelm Conrad Röntgen murió en Munich, en febrero de 1923, aquejado de un cáncer intestinal

### **Max Von Laue 1914**

Premio Nobel de Física de 1914, quien, al querer demostrar la naturaleza ondulatoria de los rayos X, descubrió el fenómeno de la difracción de rayos X por los cristales. Tras obtener su grado de doctor, volvió a Göttingen, pero ya en 1905 regresó a Berlín como asistente de Planck, quien, a su vez, llegaría a obtener el Premio Nobel de Física en 1918, es decir cuatro años más tarde que von Laue. Entre 1909 y 1919 pasó por las Universidades de Munich, Zurich, Frankfurt y Würzburg, regresando finalmente a Berlín en donde obtuvo una plaza de profesor.

Fue durante esta última época, en concreto en 1912, cuando Laue conoció en Munich a Paul Peter Ewald, quien entonces estaba acabando su Tesis Doctoral con Arnold Sommerfeld y quien interesó a Laue por sus experimentos sobre interferencias entre radiaciones de gran longitud de onda (prácticamente luz visible) sobre un "modelo cristalino" basado en resonadores y cuando, además, todavía estaba en discusión la naturaleza corpuscular u ondulatoria de las radiaciones.

Y así fue como, al hacer incidir un haz de rayos X sobre un cristal de Blenda, Laue obtuvo la confirmación de la naturaleza electromagnética de esa extraña radiación que Röntgen había descubierto años atrás, al mismo tiempo que despertó toda una serie de expectativas inmediatas sobre la naturaleza de los cristales. Por este descubrimiento, Max von Laue recibió el Premio Nobel de Física de 1914.

### **Bragg 1915**

Los británicos William Henry Bragg (1862-1942) y su hijo William Lawrence Bragg (1890-1971), en 1915 compartieron el Premio Nobel de Física al demostrar la utilidad del fenómeno que había descubierto von Laue, para obtener la estructura interna de los cristales. Los dos años (1912-1914) en los que estuvo trabajando con su padre en los experimentos de refracción y difracción por los cristales dieron lugar al famoso artículo X-rays and Crystal Structure publicado en 1915, y con el que su padre, y él mismo (¡con 25 años!) compartieron el Premio Nobel de Física. Padre e hijo pudieron explicar el fenómeno de la difracción de los rayos X por los cristales mediante determinados planos cristalográficos que se comportan como espejos especiales frente a los rayos X (Ley de Bragg), y demostraron que los cristales de sustancias tales como el Cloruro Sódico (NaCl, o sal común) no contienen moléculas de NaCl, sino simplemente iones de ambos elementos regularmente ordenados, lo cual revolucionó la Química Teórica, y provocó el nacimiento de una nueva ciencia: la Cristalografía de rayos X.

### **Arthur Lindo Patterson y David Harker 1934 - 1935**

La aportación a la Cristalografía de Patterson puede considerarse, sin exageración, como el desarrollo singular más importante, tras el propio descubrimiento de los rayos X por Röntgen en 1895. Con un trabajo sobre la producción de rayos X "duros" (con pequeñas longitudes de onda) usando la interacción de la radiación  $\beta$  del Radio con los sólidos. Su primer contacto con los experimentos de difracción de rayos X ocurrió durante una estancia de dos años que realizó en el laboratorio de W.H. Bragg en la Royal Institution de Londres. Allí fue consciente de que, si bien en las estructuras cristalinas simples la ubicación de los átomos en la celdilla era un problema relativamente sencillo, la situación era prácticamente inabordable en el caso de compuestos moleculares, o en general más complejos. También contribuyó decisivamente a la determinación del tamaño de partícula usando la difracción de rayos X, y comenzó a interesarse por las transformadas de Fourier, algo que más tarde le obsesionaría en relación con la resolución de estructuras cristalinas.

En 1933 se trasladó al MIT (Massachusetts Institute of Technology) en donde, a través de su amistad con el matemático Norbert Wiener, profundizó sobre la teoría

de Fourier y especialmente sobre las propiedades de la transformada de Fourier y su convolución. Y así fue como, en 1934, nació su fórmula, la función de Patterson, que elegantemente abría grandísimas expectativas para la resolución de las estructuras cristalinas. Sin embargo, debido a la precariedad tecnológica del momento para poder abordar sumas como las implicadas en su función, hubo que esperar algunos años hasta que su descubrimiento pudiera hacerse efectivo para resolver, indirectamente, el problema de las fases.

### **David Harker**

Harker hizo patente el hecho de que la función de Patterson contiene acumulaciones de máximos, en determinadas zonas del mapa, que son consecuencia de los vectores entre átomos relacionados entre sí por elementos de simetría, y por lo tanto cualquier vestigio de vector interatómico (entre parejas de átomos relacionados por la simetría del Grupo Espacial) habría que buscarla en dichas zonas, y no en todo el espacio de la celdilla del espacio de Patterson, lo cual simplificaba cualitativamente la interpretación.

Sus contribuciones a la Cristalografía, las desigualdades de Harker-Kasper, la primera contribución a los denominados métodos directos para la resolución del problema de las fases.

### **John D. Bernal 1940 - 1960**

Sin duda, a John D. Bernal le corresponde un lugar prominente en la Ciencia del siglo XX. Demostró que, en condiciones adecuadas, un cristal de proteína podía mantener su cristalinidad al exponerlo a los rayos X, y algunos de sus estudiantes fueron capaces de resolver estructuras tales como la hemoglobina y otros materiales biológicos de importancia, de tal modo que el análisis cristalográfico comenzó a revolucionar la Biología. John, fallecido a los 70 años, fue también el motor de los estudios cristalográficos sobre virus y, junto con su colaborador Isador Fankuchen, obtuvo los primeros diagramas de difracción de algunos de ellos.

### **Max Ferdinand Perutz (1914-2002),**

Se incorporó al grupo de John D. Bernal en el Laboratorio Cavendish con el objeto de comenzar su tesis doctoral. Su relación con Lawrence Bragg fue también decisiva y ya en 1937 realizó los primeros experimentos de difracción en cristales de hemoglobina que había podido cristalizar en el Instituto de Biología Keilin Molteno, de tal modo que se puede afirmar que Perutz (y su bicicleta) hicieron el primer nexo real entre la Física, que representaba el Laboratorio Cavendish, y la Biología.

**Rosalind E. Franklin  
(1920-1958)**

Desde el laboratorio de Randall, Rosalind cruzó su trayectoria con la de Maurice Wilkins (1916-2004), ya que ambos estaban dedicados al ADN. Lamentablemente, la competencia, desleal hasta niveles incomprensibles, la llevó a un conflicto permanente con Wilkins que finalmente le "pasó factura"..., ya que en ausencia de Rosalind, Wilkins mostró los diagramas de fibra del ADN, que Rosalind había obtenido, a dos jóvenes sin demasiados escrúpulos..., James Watson y Francis Crick.

**James Watson (1928-)**

Conoció a Maurice Wilkins a través de Wilkins, quien despertó su interés por la estructura de las proteínas y de los ácidos nucleicos. Gracias a la intervención de su director de Tesis (Salvador E. Luria) Watson consiguió, en el mismo 1951, un puesto para trabajar con John Kendrew en el Laboratorio Cavendish, en donde conoció a Francis Crick. Tras dos años en el Instituto Tecnológico de California, Watson regresó en 1955 a Inglaterra para trabajar, un año más, en el Laboratorio Cavendish con Crick. En 1956 ingresó en el Departamento de Biología de Harvard.

**William Nunn Lipscomb (1919-),**

Obtuvo su doctorado en el Instituto Tecnológico de California. Fue profesor de Física y Química en la Universidad de Minnesota y, a partir de 1959, en la de Harvard. En 1976 se le otorgó el premio Nobel de Química por sus estudios sobre la estructura de los boranos, en los que dilucidó algunos problemas del enlace químico.

Pero no se puede concluir este apartado sin hacer mención a los esfuerzos realizados por muchos cristalógrafos que durante muchos años han tratado de resolver el problema de las fases mediante alternativas diferentes a las que proporciona la metodología de Patterson, es decir, tratando de abordar el problema directamente desde las intensidades del espectro de difracción y basándose en ecuaciones de probabilidad: los métodos directos.

## **IV.-Desarrollo del Producto**

El producto desarrollado se presenta en su totalidad como parte de los anexos del documento.

## **V.- Implementación**

El producto desarrollado, es decir el folleto didáctico se implementará dentro de la asignatura de formación para el trabajo, en el área de Química, dirigido a los alumnos de tercer semestre, durante el periodo que lo integra el semestre Agosto-Diciembre del año 2009, en la Escuela Preparatoria Maestros Mexicanos turno matutino, plantel norte. Esta decisión obedece a que no se puede implementar en otra asignatura, por lo tiempos que se requieren para terminar el programa de cualquier asignatura relacionada. La opción más acertada es llevar el folleto didáctico de la forma antes mencionada. Se llevará a cabo con la estrategia didáctica que seleccione el profesor. Se sugiere se aborde de la siguiente manera:

1. De acuerdo al modelo educativo, se debe realizar un examen de diagnóstico (se propone un examen, ubicado en los anexos del manual), aplicarlo al inicio del tema, con el fin de diagnosticar y analizar que el alumno posea conocimientos básicos, y evaluar el nivel de estos conocimientos previos para iniciar el tema.

2. Con los resultados obtenidos, retroalimentar los conceptos básicos y organizar las ideas previas, para lograr una homogenización de los conocimientos.
3. Llevar a cabo las actividades que se proponen en el manual, llevando así a los alumnos de la mano para que incorporen el tema a su vocabulario y a las asignaturas que ya se le imparten.
4. Realizar las actividades de investigación, experimentales, ejercicios escritos, actividades por equipo y utilizar las imágenes diseñadas, para que pueda comprender y asimilar de mejor manera los conceptos básicos.
5. Como actividad integradora se proponen dos ejercicios diseñados por internet, llamados webquest, en donde el alumno además de integrar los conocimientos básicos, desarrolla las habilidades necesarias para utilizar las nuevas tecnologías de la información y la comunicación.
6. Realizar exámenes escritos, como parte de la evaluación cuantitativa.
7. Se sugiere realizar actividades de retroalimentación durante el desarrollo de las actividades planeadas, en el momento que así lo requieran los alumnos.

Se sugiere llevar las actividades de acuerdo a la cronometración sugerida de los temas implicados en el folleto didáctico, se presenta a continuación el formato requerido.

PREPARATORIA ESTATAL "MAESTROS MEXICANOS" #8418  
COORDINACIÓN ACADÉMICA  
CRONOGRAMA

ASIGNATURA Introducción a la cristalografía  
SEMESTRE CURRICULAR: \_\_\_\_\_ 3º. \_\_\_\_\_ SEMESTRE LECTIVO 2009-A

UNIDAD (No., Nombre, Tema )	Carga Horaria	FECHA		EVALUACIÓN	
		Inicio	Término	Rasgos	Peso (%)
1.- Introducción histórica	3	17-08-09	24-08-09	Conocimiento Desempeño Producto	30 30 40
2.- Periodicidad	7	25-08-09	20-09-09	Conocimiento Desempeño Producto	30 30 40
3.- Simetría	7	21-09-09	12-10-09	Conocimiento Desempeño Producto	30 30 40
4.- Cristalografía	10	13-10-09	16-11-09	Conocimiento Desempeño Producto	30 30 40
5.- Cristalofísica	9	17-11-09	04-12-09	Conocimiento Desempeño Producto	30 30 40
	26				

## MAPA CURRICULAR VIGENTE

PRIMER SEMESTRE		SEGUNDO SEMESTRE		TERCER SEMESTRE		CUARTO SEMESTRE		QUINTO SEMESTRE		SEXTO SEMESTRE	
ASIGNATURA	H	ASIGNATURA	H	ASIGNATURA	H	ASIGNATURA	H	ASIGNATURA	H	ASIGNATURA	H
MATEMÁTICAS I	5 10	MATEMÁTICAS II	5 10	MATEMÁTICAS III	5 10	MATEMÁTICAS IV	5 10	PSICOLOGÍA	3 6	FILOSOFÍA	4 8
QUÍMICA I	5 10	QUÍMICA II	5 10	GEOGRAFÍA	3 6	BIOLOGÍA I	4 8	BIOLOGÍA II	4 8	ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE	3 6
ÉTICA Y VALORES I	3 6	ÉTICA Y VALORES II	3 6	FÍSICA I	5 10	FÍSICA II	5 10	HISTORIA UNIVERSAL CONTEMP	3 6	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	3 6
INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS SOCIALES	3 6	HISTORIA DE MÉXICO I	3 6	HISTORIA DE MÉXICO II	3 6	ESTRUCTURA SOCIOECONÓMICA DE MÉXICO	3 6	CALCULO DIFERENCIAL	3 6	CALCULO INTEGRAL	3 6
TALLER DE LECTURA Y REDACCIÓN I	4 8	TALLER DE LECTURA Y REDACCIÓN II	4 8	LITERATURA I	3 6	LITERATURA II	3 6	ADMINISTRACIÓN I	3 6	ADMINISTRACIÓN II	3 6
LENGUA ADICIONAL AL ESPAÑOL I	3 6	LENGUA ADICIONAL AL ESPAÑOL II	3 6	LENGUA ADICIONAL AL ESPAÑOL III	3 6	LENGUA ADICIONAL AL ESPAÑOL IV	3 6	T. SELECTOS DE C. DE LA SALUD I	3 6	T. SELECTOS DE C. DE LA SALUD II	3 6
INFORMÁTICA I	3 6	INFORMÁTICA II	3 6	F.T.	7 14	F.T.	7 14	TEMAS SELECTOS DE DERECHO I	3 6	TEMAS SELECTOS DE DERECHO II	3 6
ACTIVIDADES PARAESCOLARES	4 8	ACTIVIDADES PARAESCOLARES	4 8					F.T.	7 14	F.T.	7 14
	30 60		30 60	ACTIVIDADES PARAESCOLARES	3 6	ACTIVIDADES PARAESCOLARES	2 4				
					32 64		32 64	ACTIVIDADES PARAESCOLARES	3 6	ACTIVIDADES PARAESCOLARES	3 6
									32 64	OFICINA DE SERVICIOS ACADÉMICOS	32 64

En este cuadro se muestra el mapa curricular, y se detalla en donde inicia la formación para el trabajo como asignatura, a la cual se le destinan 7 horas a la semana, y es más flexible el programa.

## **VI.- Conclusiones:**

A través de la implementación del folleto en el aula de clase, se puede observar fácilmente que se despierta el interés del alumno por el tema de la cristalografía, una rama de la ciencia poco conocida a nivel medio superior, pero no por esto que no deba ser incluida en la currícula del nivel medio superior. Por medio de las actividades descritas en el folleto didáctico es como se va fomentando el interés y la motivación de nuestros alumnos por el tema de cristalografía.

Es tangible la tarea emprendida de sembrar en el alumno la semilla del interés por la ciencia, con las actividades diseñadas el estudiante siente que hace ciencia, y apreciar que ella está al alcance de su vida cotidiana, es un proceso por lo tanto perceptible, tanto para el alumno como para el docente.

Al instante de estar desarrollando las actividades descritas y propuestas en el folleto, se fomenta en el alumno el uso de las Nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTIC's) para llevar a cabo su aprendizaje, y favorecer el fortalecimiento de las competencias genéricas, propias del manejo de la comunicación, así como iniciar con las competencias disciplinares básicas.

No solo es palpable desarrollo académico, motivacional y personal de los alumnos, también se manifiesta en el papel que desempeña el docente en este modelo educativo que es el de facilitador dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje así el estudiante se desempeñará activamente al ir construyendo su propio conocimiento a través de sus experiencias, la guía del maestro y los recursos didácticos.

Según la literatura revisada la utilización del modelo educativo basado en competencias es particularmente para educación en general, pero específicamente es el modelo planteado dentro de la RIEMS. Así pues, constituye una herramienta para los procesos pedagógicos que se ajusta a las demandas de la sociedad actual generados por los avances tecnológicos principalmente.

## VII.- Bibliografía

“ **Definición de la Teoría del Aprendizaje de Vigotsky**”., (txt)., 1999.,  
<http://www.psicopedagogio.com/definición/teoríadelaprendizajedevigotsky.>, 23 agosto 2008

“**El Aprendizaje según Piaget**”., (txt).,  
<http://mayeuticaeducativa.idoneos.com/index.php/348494.>, 10 junio 2009.

“**Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel. 1983-96**”., (txt).,  
<http://www.monografias.com/trabajos10/dapa/dapa.shtml> 13 octubre 2009.

“**Teorías del Aprendizaje, La Teoría ACT de Anderson. 1982 y 1983**”., (txt).,  
<http://www.monografias.com/trabajos5/teap/teap.shtml.>, 23 de agosto 2009.

**Álvarez** Mendiola, Germán., “Sistema Educativo Nacional de México”. 1994 /  
Secretaría de Educación Pública y Organización de Estados Iberoamericanos.  
México D. F., México, 1994

**Bazán** Levy, José., “TESIS ACERCA DEL BACHILLERATO MEXICANO EN  
1991”., (txt)., 1991.,  
[http://www.anuies.mx/servicios/p\\_anuies/publicaciones/revsup/res077/txt9.htm#co](http://www.anuies.mx/servicios/p_anuies/publicaciones/revsup/res077/txt9.htm#contenido.)  
ntenido., 15 junio 2009.

**CARRANZA PALACIOS, JOSE ANTONIO.**, “LA EDUCACION MEDIA EN  
MEXICO”, (Conferencia).  
[www.anuies.mx/servicios/p\\_anuies/publicaciones/revsup/res009/txt3.htm](http://www.anuies.mx/servicios/p_anuies/publicaciones/revsup/res009/txt3.htm)  
20 junio 2009.

**Cascio**, Francisco., Hernández, Juan., Daly Duarte, Kely V., “Aportes a la  
Educación y la pedagogía”., (Doc).,  
<http://www.monografias.com/trabajos14/vigotsky/vigotsky.shtml.>, 22 de agosto  
2009.

**Cruz** García, Rolando. “El Bachillerato en México, el nivel educativo más  
abandonado” (txt). 2007. [http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/285001.el-](http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/285001.el-bachillerato-en-mexico-el-nivel-educativo.html)  
bachillerato-en-mexico-el-nivel-educativo.html

**De Allende**, Carlos María y Morones Díaz, Guillermo. “*Glosario de términos  
vinculados con la cooperación académica*”. México: ANUIES, 2006, p. 4. 51

**Delors** Jaques. et.al. "La Educación Encierra un Tesoro".UNESCO.México.1996.

**DeSeCo**. *The definition and selection of key competencies Executive Summary*. OCDE, 2005, p.4. 21

**Forero**, Andrés., "Biografía Jerome Seymour Bruner. 1965-90"., (txt)., <http://elcentro.uniandes.edu.co/equipo/miembros/anfore/bruner.htm>., 8 octubre 2009.

**Gómez**, Adriana Delia., "Mecanismos de aprendizaje en el ACT"., (Doc)., <http://www.monografias.com/trabajos5/teap/teap2.shtml>., 22 de agosto 2009.

**Grundy**, S. "Proceducto o Praxis del Currículum"., 2da. Edición ,Morata.Madrid,1994

**MARZANO**, Robert. J. and Pickering Debra J. "Dimensions of Learning. Teacher's Manual". ASCD - Association for Supervision and Curriculum Development. Second Edition, 1997. [www.unacar.mx/f\\_educativas/mfaro03/Marzano.doc](http://www.unacar.mx/f_educativas/mfaro03/Marzano.doc)

**Peña Ochoa**, Paz, Peña Ochoa Monica Alejandra., "El saber y las TIC: ¿Brecha digital o brecha institucional?"., 2007., (Artículo). Revista Ibero Americana de Educación OEI., Número 45., <http://www.rieoei.org/rie45a03.htm>.

**Perrenoud**, Philippe., "*Diez nuevas competencias para enseñar. Invitación al viaje*". Barcelona: Graó"., Biblioteca de Aula No. 196, 2004, p. 15. Pp. 9-10, 39-40.

**Reglamento Interno de la Secretaría de Educación Pública**. Capitulo VI, Art. 24. Fracciones I y XI.

**Santamaría**, Sandra., "Teorías de Piaget. 1983"., (txt)., <http://www.monografias.com/trabajos16/teorias-piaget/teorias-piaget.shtml>., 11 octubre 2009.

**Secretaría de Educación Pública**. Programa Nacional de Educación. 2001-2006

**SEP**, SEMS., "Reforma Integral de La Educación Media Superior"., (Doc)., 2007, 2008., [WWW.sems.gob.mx](http://WWW.sems.gob.mx)

**SEP.**, “ Ley General de Educación” art. 45., (Doc)., 2002  
[www.sep.gob.mx/work/appsite/progimer/.../LGE.doc.](http://www.sep.gob.mx/work/appsite/progimer/.../LGE.doc.), 15 enero 2008

**SEP.**, DGB/DCA., “Documento de trabajo interno”., (Doc)., /2002-08.,  
[WWW.sems.edu.mx](http://WWW.sems.edu.mx)

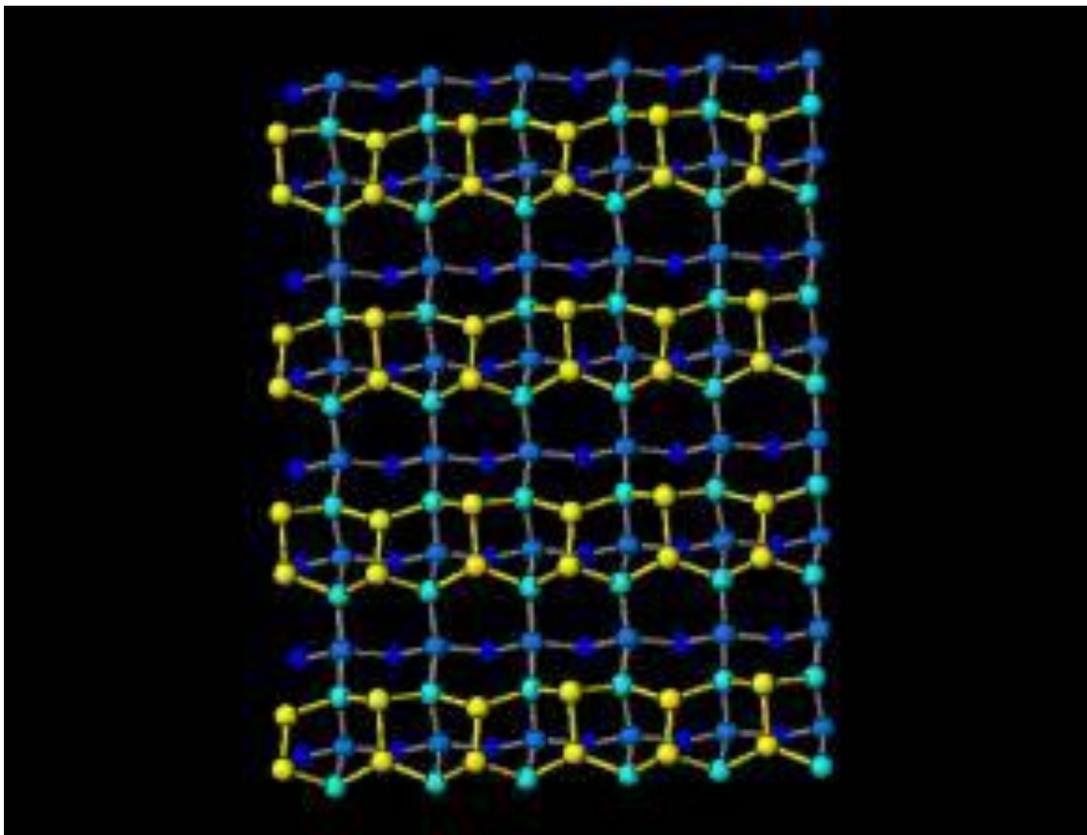
**Soto**, Lauro., “ Educación Media Superior en México”., (Doc)., 2008.,  
<http://www.mitecnologico.com/Main/EducacionMediaSuperiorEnMexico.>, 20 junio 2009.

**Uriarte** Zazueta, Alger. “La Educación Media Superior: Potencialidades y desafíos en Sinaloa., (doc).  
[http://laip.sinaloa.gob.mx/Revistas/CGA/CausaComun/Agosto2005/ANALISIS\\_EDU\\_MED\\_SUP.htm](http://laip.sinaloa.gob.mx/Revistas/CGA/CausaComun/Agosto2005/ANALISIS_EDU_MED_SUP.htm) 11 julio 2009.

**Yáñez** Delgado, Alfonso. Impresa y Publicada por la Dirección de Prensa y Relaciones Públicas UNIVERSIDAD Año VI/núm. 29, 13 de noviembre de 1986, pp. 2-8. Director C.P. <http://www.alfonsocalderon.buap.mx/hist1.html>. 11 junio 2009

ANEXO

# *INTRODUCCION A LA CRISTALOGRAFÍA*

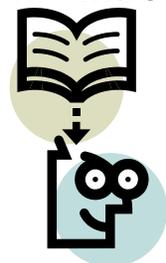


## INDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1 HISTORIA .....	3
<b>1.2.- CRISTALOGRAFÍA</b>	<b>11</b>
1.2.1.- VOCABULARIO .....	11
1.2.2.- CRISTALOGRAFÍA .....	12
1.2.3.- GENERALIDADES .....	12
1.2.4.- ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UN CRISTAL .....	12
<b>2.- EL CRISTAL PERIODICIDAD</b>	<b>14</b>
2.1. EL CRISTAL DESDE UN PUNTO DE VISTA MACROSCÓPICO.....	18
2.2. PERIODICIDAD.....	18
2.3 - REDES RECÍPROCAS.....	19
<b>3.- SIMETRÍA</b>	<b>19</b>
3.1.- NOCIONES DE SIMETRÍA .....	19
3.2. LA SIMETRÍA .....	20
3.3 SIMETRÍA PUNTUAL.....	22
3.4 .- GRUPOS DE SIMETRÍA PUNTUAL.....	23
3.4.1. LAS REDES CRISTALINAS.....	24
3.4.2.- REDES DE BRAVAIS .....	24
3.5.- SISTEMAS CRISTALINOS .....	27
3.5.1. ALGUNOS MINERALES CRISTALINOS .....	28
<b>4.- CRISTALOQUÍMICA</b>	<b>28</b>
4.1.- INTRODUCCIÓN.....	28
4.1.1.- ENLACES QUÍMICOS.....	29
4.1.2.-DISTINTOS TIPOS DE ENLACES .....	30
4.1.2.2. ENLACE COVALENTE.....	30
4.1.2.3. ENLACE IÓNICO.....	31
<b>5.- CRISTALOFÍSICA</b>	<b>32</b>
5.1.- INTRODUCCIÓN .....	32
5.2. PROPIEDADES FÍSICAS .....	34
5.3. TIPOS DE CRISTALES .....	34
<i>Cristales sólidos</i> .....	34
<i>Cristales líquidos</i> .....	35
<i>Cristales iónicos</i> .....	35
<i>Cristales covalentes</i> .....	35
<i>Cristales moleculares</i> .....	36
<i>Cristales metálicos</i> .....	36
5.4. SÓLIDOS AMORFOS .....	36
5.4.1. LA ESTRUCTURA DE UN AMORFO.....	37
5.5. LOS SÓLIDOS.....	38
5.6. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES .....	39
5.7. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.....	40
5.8. CONDUCCIÓN ELÉCTRICA .....	40
5.9. SÓLIDOS (INCLUIDOS LOS SÓLIDOS AISLANTES) .....	41

5.9.1. METALES .....	41
5.9.2. SEMICONDUCTORES .....	41
5.9.3. SUPERCONDUCTORES .....	42
5.9.4. ELECTROLITOS .....	42
5.9.5. GASES Y PLASMAS.....	42
5.9.6. VACÍO .....	43
5.9.7. CONDUCTIVIDAD EN MEDIOS SÓLIDOS.....	43
5.10. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS CRISTALES.....	44
<b>ANEXO</b>	<b>47</b>
CRISTALES EN EL AULA Y EN CASA .....	47
<b>A. Crecimiento de cristales a partir de disoluciones</b> .....	47
B. CRISTALES A PARTIR DEL FUNDIDO (LÍQUIDO DE LA MISMA SUSTANCIA QUE LOS CRISTALES) .....	49
D. EXPERIMENTOS CON LUZ POLARIZADA .....	51
<b>DIRECCIONES ELECTRONICAS DE WEBQUEST</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>54</b>

## 1.- Introducción



El estudio de la materia cristalina se inició como mera descripción del mundo natural, intentando comprender los mecanismos de génesis de las formas minerales encontradas en la superficie (cristalogénesis).

Este conocimiento generó toda una ciencia, la cristalografía. En la actualidad ha pasado a tener un gran interés en el campo de la técnica (síntesis de nuevos materiales, biología molecular, industria, etc.).

### 1.1 HISTORIA

La Cristalografía ha sido, y es, es una de las disciplinas científicas más decisivas para el avance de la Química y cuya influencia es indudable para el impulso de la Biología, de la Bioquímica y de la Biomedicina. Se presenta, cronológicamente, unas breves reseñas biográficas, La introducción de estos personajes se ha distribuido en conjuntos cronológicos.

#### **Wilhelm Conrad Röntgen 1901**

Nada de esto habría sido posible sin la aparición de **Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923)**, primer Premio Nobel de Física (1901), por su descubrimiento de los rayos X.

Röntgen nació en la pequeña ciudad de Lennep de la provincia del Bajo Rin (Alemania) como hijo único del matrimonio entre un comerciante de tejidos y de Charlotte Constanze Frowein, descendiente de una conocida familia residente en dicha ciudad, aunque de origen holandés. Con la edad de 3 años su familia se trasladó a Holanda en donde, desde los 16 a los 20 años, Wilhelm estudió en la Escuela Técnica de Utrech, edad a la que se trasladó a Zurich en donde comenzó, y concluyó, la licenciatura de Ingeniería Mecánica.



**Wilhelm Conrad Röntgen  
(1845-1923)**

Tras algunos años en Zurich como asistente del profesor de Física August Kundt, en 1872 (con 27 años) se trasladó con éste a la Universidad de Würzburg, pero al no poder obtener ningún puesto (por no aprobar los exámenes de latín y griego) acabó en Estrasburgo, en donde obtuvo una plaza de profesor (1874). Cinco años más tarde aceptó un puesto de profesor en la *Universidad de Giessen* y finalmente, con aproximadamente 45 años, obtuvo una cátedra de Física en Würzburg, en donde llegó a ser Rector. Su descubrimiento vio la luz a sus 50 años (noviembre de 1895), tras algunos experimentos con los rayos catódicos y gracias a la circunstancia, casi fortuita, de que una lámina de cartón (impregnada en cianuro de Pt-Ba) mostrara una fluorescencia totalmente inesperada.

Un mes tardó Röntgen en comprender el alcance esa nueva radiación, preparando inmediatamente una comunicación científica para la *Sociedad de Física y Medicina* en Würzburg...y consiguiendo un auténtico e inmediato revuelo a nivel popular... Sin embargo, casi con la misma velocidad, su pública celebridad pasó por momentos de mínimos, llegando a ser

casi tachado de mentiroso...

Fue a principios de 1896 cuando Röntgen comenzó a salir definitivamente de su situación incómoda, gracias a su decisivo envío, a la revista británica *British Medical Journal*, de una radiografía con un brazo fracturado, lo cual daba idea de la capacidad diagnóstica de su descubrimiento. Sin embargo, debieron pasar bastantes años hasta que su "increíble luz" fuera reconocida como de interés médico, e incluso le reportara el máximo galardón del primer Premio Nobel de Física de 1901. Wilhelm Conrad Röntgen murió en Munich, en febrero de 1923, aquejado de un cáncer intestinal



Max Von Laue 1914

Si el descubrimiento de Röntgen fue importante para el desarrollo de la Cristalografía, el segundo salto cualitativo fue debido a otro alemán, Max von Laue (1879-1960), Premio Nobel de Física de 1914, quien, al querer demostrar la naturaleza ondulatoria de los rayos X, descubrió el fenómeno de la difracción de rayos X por los cristales. Max von Laue, nació en un pequeño pueblo de Koblenz como hijo de Julius von Laue, un oficial de la administración militar alemana, al que le fue otorgado el rango nobiliario en 1913. Debido a la profesión paterna, el joven Max pasó su juventud entre varias ciudades alemanas, Brandenburg, Altona, Posse, Berlín y Estrasburgo. Tras su servicio militar, que comenzó en 1898, estudió Matemáticas, Física y Química en la Universidad de esta última ciudad, pero pronto se trasladó a la Universidad de Göttingen y en 1902 a la Universidad de Berlín, en donde comenzó a trabajar con Max Planck. Un año más tarde, tras obtener su grado de doctor, volvió a Göttingen, pero ya en 1905 regresó a Berlín como asistente de Planck, quien, a su vez, llegaría a obtener el Premio Nobel de Física en 1918, es decir cuatro años más tarde que von Laue

Entre 1909 y 1919 pasó por las Universidades de Munich, Zurich, Frankfurt y Würzburg, regresando finalmente a Berlín en donde obtuvo una plaza de profesor.

Fue durante esta última época, en concreto en 1912, cuando Laue conoció en Munich a Paul Peter Ewald, quien entonces estaba acabando su Tesis Doctoral con Arnold Sommerfeld y quien interesó a Laue por sus experimentos sobre interferencias entre radiaciones de gran longitud de onda (prácticamente luz visible) sobre un "modelo cristalino" basado en resonadores y cuando, además, todavía estaba en discusión la naturaleza corpuscular u ondulatoria de las radiaciones.

Esta idea es la que finalmente llevó a Laue a imaginar qué pasaría si en lugar de tales grandes longitudes de onda se usaran otras de mucha menor longitud, y directamente sobre los cristales quienes, en teoría, deberían comportarse como redes de interferencia muy pequeñas.

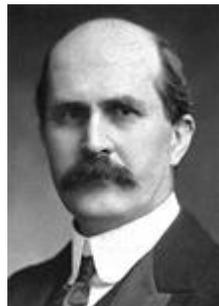
Y así fué como, al hacer incidir un haz de rayos X sobre un cristal de Blenda, Laue obtuvo la confirmación de la naturaleza electromagnética de esa extraña radiación que Röntgen había descubierto años atrás, al mismo tiempo que despertó toda una serie de expectativas inmediatas sobre la naturaleza de los cristales. Por este descubrimiento, Max von Laue recibió el Premio Nobel de Física de 1914.

Tras la II Guerra Mundial fue transportado a Inglaterra con otros varios científicos alemanes y allí permaneció contribuyendo a la Unión Internacional de Cristalografía, hasta que, en 1946 regresó a Alemania como director del *Instituto Max Planck* y profesor de la *Universidad de Göttingen*. Se

retiró en 1958, siendo director del *Instituto de Química-Física Fritz Haber* en Berlín, cargo para el que había sido elegido en 1951. Laue murió a los 80 años (abril de 1960) tras pocos días de sufrir un atropello por un motorista, quien dos días antes había obtenido su permiso de conducción.

### **Bragg 1915**

En esta ocasión no pasó lo mismo que con el descubrimiento de Röntgen. No hubo que esperar mucho tiempo, ya que el hallazgo de Max von Laue no pasó desapercibido, al menos para los británicos William Henry Bragg (1862-1942) y su hijo William Lawrence Bragg (1890-1971), quienes en 1915 compartieron el Premio Nobel de Física al demostrar la utilidad del fenómeno que había descubierto **von Laue**, para obtener la estructura interna de los cristales.



**William H. Bragg**  
(1862-1942)



**William L. Bragg**  
(1890-1971)

William H. Bragg estudió Matemáticas en el *Trinity College* de Cambridge y posteriormente Física en el *Laboratorio Cavendish*, hasta que a finales de 1885 fue nombrado profesor en la *Universidad de Adelaida* (Australia), en donde nació su hijo William Lawrence Bragg.

Su hijo, William Lawrence, estudió también Matemáticas, en la Universidad de Adelaida, hasta que en 1909 la familia regresó a Inglaterra y entró como becario en el *Trinity College* de Cambridge. En otoño de 1912, el mismo año en que Max von Laue hizo público su experimento, comenzó el joven William Lawrence a examinar el fenómeno descrito, que ocurría al interponer un cristal frente a los rayos X, publicando su primer artículo sobre el experimento.

En 1914 Lawrence fue nombrado profesor de Ciencias Naturales en el mismo *Trinity College*, y ya en el mismo año se le concedió la honorífica *Medalla Barnard*. Los dos años (1912-1914) en los que estuvo trabajando con su padre en los experimentos de refracción y difracción por los cristales dieron lugar al famoso artículo *X-rays and Crystal Structure* publicado en 1915, y con el que su padre, y él mismo (¡con 25 años!) compartieron el Premio Nobel de Física. Padre e hijo pudieron explicar el fenómeno de la difracción de los rayos X por los cristales mediante determinados planos cristalográficos que se comportan como espejos especiales frente a los rayos X (*Ley de Bragg*), y demostraron que los cristales de sustancias tales como el Cloruro Sódico (NaCl, o sal común) no contienen moléculas de NaCl, sino simplemente iones de ambos elementos regularmente ordenados, lo cual revolucionó la Química Teórica, y provocó el nacimiento de una nueva ciencia: la Cristalografía de rayos X.

Desgraciadamente, tras la primera guerra mundial, padre e hijo se distanciaron y dieron por finalizado su trabajo conjunto, de tal modo que Henry (el padre) se centró en cristales de compuestos orgánicos mientras que Lawrence lo hizo en compuestos inorgánicos.

En 1919 Lawrence aceptó un puesto de profesor de Física en la *Universidad Victoria* de Manchester, lugar en donde se casó y permaneció hasta 1937. En 1941 padre e hijo fueron nombrados *Caballeros (Sir)* y un año más tarde (1942) falleció William Henry. En años posteriores Lawrence se interesó por la estructura de los silicatos, los metales y en especial por la química de las proteínas, ocupando el puesto de Director del *Laboratorio Nacional de Física* en Teddington y profesor de Física Experimental en el *Laboratorio Cavendish* (Cambridge), hasta que, en 1954, fue nombrado Director de la *Royal Institution* en Londres, estableciendo su propio grupo de investigación con el objeto de comenzar a estudiar la estructura de las proteínas mediante el uso de los rayos X. Lawrence falleció en 1971, a la edad de 81 años.

### Arthur Lindo Patterson y David Harker 1934 - 1935

Inexplicablemente, el nombre de Arthur Lindo Patterson está pasando a la historia, al menos desde la última década del siglo XX, casi como un desconocido, desvaneciéndose lentamente, y mucho nos tememos que su nombre quede exclusivamente asociado a un apartado de algún programa de cálculo..., la aportación a la Cristalografía de Patterson puede considerarse, sin exageración, como el desarrollo singular más importante, tras el propio descubrimiento de los rayos X por Röntgen en 1895.

Lindo Patherson nació a principios del siglo XX en Nueva Zelanda, pero muy pronto su familia emigró a Canadá, en donde pasó su juventud. Por alguna razón que desconocemos, fue a la escuela en Inglaterra para luego regresar a Montreal (Canadá) y estudiar Física en la *Universidad McGill*, obteniendo el grado de licenciado con un trabajo sobre la producción de rayos X "duros" (con pequeñas longitudes de onda) usando la interacción de la radiación  $\beta$  del Radio con los sólidos. Su primer contacto con los experimentos de difracción de rayos X ocurrió durante una estancia de dos años que realizó en el laboratorio de W.H. Bragg en la *Royal Institution* de Londres. Allí fue consciente de que, si bien en las estructuras cristalinas simples la ubicación de los átomos en la celdilla era un problema relativamente sencillo, la situación era prácticamente inabordable en el caso de compuestos moleculares, o en general más complejos.



**Arthur L. Patterson (1902-1966)**

Tras su estancia en el laboratorio de W.H. Bragg, Lindo Patterson pasó un año muy productivo en el *Instituto Kaiser-Wilhelm* de Berlín, bajo la dirección de Hermann Mark, con una beca del National Research Council de Canadá. Con su trabajo contribuyó decisivamente a la determinación del tamaño de partícula usando la difracción de rayos X, y comenzó a interesarse por las transformadas de Fourier, algo que más tarde le obsesionaría en relación con la resolución de estructuras cristalinas.

En 1927 Lindo Patterson regresó a Canadá y un año más tarde concluyó su Tesis Doctoral en la *Universidad McGill*. Tras dos años con R.W.G. Wyckoff en el *Instituto Rockefeller* de Nueva York, aceptó un puesto en la *Johnson Foundation for Medical Physics* en Philadelphia con el objeto de introducirse en la difracción aplicada a materiales biológicos. En 1933 se trasladó al *MIT (Massachusetts Institute of Technology)* en donde, a través de su amistad con el matemático Norbert Wiener, profundizó sobre la teoría de Fourier y especialmente sobre las propiedades de la transformada de Fourier y su convolución. Y así fue como, en 1934, nació su fórmula, la función de Patterson, que elegantemente abría grandísimas expectativas para la resolución de las estructuras cristalinas. Sin embargo, debido a la precariedad tecnológica del momento para poder abordar sumas como las implicadas en su función, hubo que esperar algunos años hasta que su descubrimiento pudiera hacerse efectivo para resolver, indirectamente, el problema de las fases. Arthur Lindo Patterson falleció súbitamente, a causa de una hemorragia cerebral, en noviembre de 1966.

Al margen de la dificultad práctica que suponía el cálculo de la función aportada por Arthur L. Patterson, ya se vislumbraban las dificultades que reportaría la interpretación de dicha función para el caso de estructuras complejas. Al menos así era, hasta que, en 1935, David Harker (1906-1991), un "aprendiz de cristalógrafo", se diera cuenta de una circunstancia especial que facilitaba significativamente la interpretación de la función, y de la que Arthur L. Patterson no había sido consciente



David Harker nació en California, graduándose en 1928 como químico en

Berkeley. En 1930 aceptó un trabajo como técnico de laboratorio en uno de los David Harker (1906-1991) laboratorios de la empresa *Atmospheric Nitrogen Corp.* en el estado de Nueva York, y en donde, a través de la lectura de artículos relacionados con estructuras, nació su interés por la Cristalografía. Por culpa de la gran depresión económica, en 1933 perdió su trabajo y regresó a California. Utilizando algunos ahorros pudo entrar en el *Instituto de Tecnología de California* y, bajo la supervisión de Linus Pauling, comenzó a practicar en la resolución de algunas estructuras simples.

Durante una de las charlas semanales del laboratorio de Pauling se presentó la función que recientemente había introducido Arthur L. Patterson y allí fue en donde Harker fue consciente de la dificultad que supondría abordar el cálculo, y especialmente la resolución (interpretación), de una función de este tipo en estructuras con un gran número de átomos. Según contó él mismo, algunas noches después de la charla mencionada, se despertó súbitamente durante la noche y exclamó *¡tiene que funcionar!*. En efecto, Harker hizo patente el hecho de que la función de Patterson contiene acumulaciones de máximos, en determinadas zonas del mapa, que son consecuencia de los vectores entre átomos relacionados entre sí por elementos de simetría, y por lo tanto cualquier vestigio de vector interatómico (entre parejas de átomos relacionados por la simetría del Grupo Espacial) habría que buscarla en dichas zonas, y no en todo el espacio de la celdilla del espacio de Patterson, lo cual simplificaba cualitativamente la interpretación.

Desde 1936 hasta 1941 Harker obtuvo un puesto de profesor de química-física en la *Universidad Johns Hopkins*, en donde aprendió Cristalografía clásica y Mineralogía. Durante los restantes años de la década de 1940 obtuvo un puesto de investigador en la *Compañía General Electric* y desde allí, junto con su colaborador John S. Kasper hizo otra de sus espléndidas contribuciones a la Cristalografía, las desigualdades de Harker-Kasper, la primera contribución a los denominados métodos directos para la resolución del problema de las fases. En la década de 1950 aceptó el ofrecimiento de Irwin Langmuir para incorporarse al *Brooklyn Polytechnic Institute* para dedicarse a la resolución de la estructura de la ribonucleasa, lo que permitió plantear la metodología que años más tarde (1962) sería usada por Max Perutz y John Kendrew en la resolución de la estructura de la hemoglobina. En 1959 Harker trasladó su equipo y proyecto de la ribonucleasa al *Roswell Park Cancer Institute* y concluyó la estructura en 1967. En 1976 se retiró oficialmente, pero permaneció de algún modo activo en la *Medical Foundation of Buffalo*, hoy *Hauptman-Woodward Institute*, hasta su fallecimiento, en 1991, a causa de una neumonía.

### **John D. Bernal 1940 - 1960**

Tras los hallazgos y desarrollos de Arthur Lindo Patterson y David Harker, se disparó el interés por la estructura de las moléculas, especialmente las relacionadas con la vida: las proteínas. Y en este movimiento tuvo mucho que ver un irlandés, afincado en Inglaterra, John Desmond Bernal (1901-1971), que sin lugar a dudas hizo de centro atractor para un conjunto de personajes decisivos para el desarrollo ulterior de la Cristalografía.

La familia Bernal, de origen judío sefardí, llegó desde España a Irlanda en 1840 y se convirtió al catolicismo, ambiente en el que creció John D. Bernal, aunque lentamente fue alejándose de la religión y en su madurez se manifestó como ateo. La revolución rusa de 1917 influyó mucho en Bernal, que llegó a ser un activísimo miembro del Partido Comunista británico.

John se graduó en 1919 en Mineralogía y Matemáticas (aplicadas a la simetría) en la *Universidad de Cambridge*. En 1923 obtuvo un puesto de ayudante en el laboratorio de W.H. Bragg de la *Royal Institution* en Londres, y en 1927 regresó a Cambridge como profesor, en donde pronto recibió de sus alumnos del *Laboratorio Cavendish* el apelativo cariñoso de "el sabio". Desde allí ilusionó también en el campo de la cristalografía de las macromoléculas a muchos investigadores

del *Birkbeck College* y del *King's College*. En 1937 obtuvo una plaza de profesor en Londres, en el *Birkbeck College*, lugar en donde también obtuvieron su formación una parte de los cristalógrafos aventajados de la época.

Sin duda, a John D. Bernal le corresponde un lugar prominente en la Ciencia del siglo XX. Demostró que, en condiciones adecuadas, un cristal de proteína podía mantener su cristalinidad al exponerlo a los rayos X, y algunos de sus estudiantes fueron capaces de resolver estructuras tales como la hemoglobina y otros materiales biológicos de importancia, de tal modo que el análisis cristalográfico comenzó a revolucionar la Biología. John, fallecido a los 70 años, fue también el motor de los estudios cristalográficos sobre virus y, junto con su colaborador Isador Fankuchen, obtuvo los primeros diagramas de difracción de algunos de ellos.



**Max F. Perutz**  
(1914-2002)

**John C. Kendrew**  
(1917-1997)

El desarrollo de los Bragg sobre el descubrimiento de Laue, y finalmente las aportaciones de Patterson y Harker abrieron todas las expectativas al mundo estructural en la Biología. Pero, además, la segunda guerra mundial hizo que el caldo de cultivo se concentrara en Inglaterra, en donde la figura de John D. Bernal aparece como centro atractor

Max Ferdinand Perutz (1914-2002), nació en Austria en una familia dedicada a la industria textil. En 1932 se matriculó en la licenciatura de química en la Universidad de Viena y descontento con lo que él denominó *una pérdida de tiempo dedicada al análisis inorgánico*, decidió que su vida estaba en la bioquímica que parecía desarrollarse en Cambridge, y con la ayuda económica familiar en 1936 se incorporó al grupo de John D. Bernal en el *Laboratorio Cavendish* con el objeto de comenzar su tesis doctoral. Su relación con Lawrence Bragg fue también decisiva y ya en 1937 realizó los primeros experimentos de difracción en cristales de hemoglobina que había podido cristalizar en el *Instituto de Biología Keilin Molteno*, de tal modo que se puede afirmar que Perutz (y su bicicleta) hicieron el primer nexo real entre la Física, que representaba el *Laboratorio Cavendish*, y la Biología.



**Rosalind E. Franklin**  
(1920-1958)

Uno de los grandes personajes de la época, que sin lugar a dudas también se gestó alrededor de

la influencia directa de John D. Bernal, fue la controvertida e infortunada y londinense Rosalind Elsie Franklin (1920-1958). Existen multitud de textos referentes a Rosalind y quizá merezca la pena leer también las detalladas páginas preparadas por Miguel Vicente y tituladas La dama ausente: Rosalind Franklin y la doble hélice, y Jaque a la dama: Rosalind Franklin en King's College, entre otras cosas porque creemos que hacen justicia a su persona y a su corta, aunque fructífera, y no reconocida labor en la ciencia de mediados del siglo XX.

Rosalind se doctoró en 1945 en la *Universidad de Cambridge* y tras pasar tres años (1947-1950) en París, en el *Laboratoire de Services Chimiques de L'Etat* se incorporó en 1951 como asociada de John Randall en el *King's College* de Londres. Desde el laboratorio de Randall, Rosalind cruzó su trayectoria con la de Maurice Wilkins (1916-2004), ya que ambos estaban dedicados al ADN. Lamentablemente, la competencia, desleal hasta niveles incomprensibles, la llevó a un conflicto permanente con Wilkins que finalmente le "pasó factura"..., ya que en ausencia de Rosalind, Wilkins mostró los diagramas de fibra del ADN, que Rosalind había obtenido, a dos jóvenes sin demasiados escrúpulos..., James Watson y Francis Crick.

**Maurice Wilkins (1916-2004)**, nacido en Nueva Zelanda, se licenció como físico en 1938, en el *St. John's College* de Cambridge, fecha en la que se incorporó con John Randall a la *Universidad de Birmingham*. Tras obtener su doctorado en 1940, se incorporó al proyecto Manhattan en California. Tras la Segunda Guerra Mundial, en 1945, volvió a Europa en donde John Randall organizaba los estudios de biofísica en la *Universidad de St. Andrew* en Escocia. Un año más tarde obtuvo una plaza en el *King's College* de Londres y el entonces recién creado *Medical Research Council*, en donde llegó a ser Vicedirector en 1950.

**James Watson (1928-)** nació en Chicago, y en 1950 obtuvo su título de doctor en Zoología por la *Universidad de Indiana*. Pasó un año en Copenhague como becario Merck y durante un simposio celebrado en 1951, en Nápoles, conoció a Maurice Wilkins. Wilkins, quien despertó su interés por la estructura de las proteínas y de los ácidos nucleicos. Gracias a la intervención de su director de Tesis (Salvador E. Luria) Watson consiguió, en el mismo 1951, un puesto para trabajar con John Kendrew en el *Laboratorio Cavendish*, en donde conoció a Francis Crick. Tras dos años en el *Instituto Tecnológico de California*, Watson regresó en 1955 a Inglaterra para trabajar, un año más, en el *Laboratorio Cavendish* con Crick. En 1956 ingresó en el *Departamento de Biología de Harvard*.



**Dorothy C. Hodgkin**  
(1910-1994)

**William Nunn Lipscomb (1919-)**, americano, nacido en Cleveland, obtuvo su doctorado en el *Instituto Tecnológico de California*. Fue profesor de Física y Química en la Universidad de Minnesota y, a partir de 1959, en la de Harvard. En 1976 se le otorgó el premio Nobel de Química por sus estudios sobre la estructura de los boranos, en los que dilucidó algunos problemas del enlace químico.



Pero no se puede concluir este apartado sin hacer mención a los esfuerzos realizados por muchos cristalógrafos que durante muchos años han tratado de resolver el problema de las fases mediante alternativas diferentes a las que proporciona la metodología de Patterson, es decir, tratando de abordar el problema directamente desde las intensidades del espectro de difracción y basándose en ecuaciones de probabilidad: los métodos directos.



**Herbert Hauptman (1917-)**



**Jerome Karle (1918-)**



**Isabella Karle (1921-)**

**Herbert A. Hauptman (1917-)**, nacido en Nueva York, se graduó en 1939, como matemático, en la Universidad de Columbia. Su colaboración con Jerome Karle comenzó en 1947 en el *Naval Research Laboratory* de Washington DC, y obtuvo su doctorado en 1954. En 1970 se incorporó al grupo de cristalógrafos de la *Medical Foundation en Buffalo*, de donde llegó a ser director de investigación en 1972.

**Jerome Karle (1918-)**, también neoyorquino, estudió matemáticas, física, química y biología, obteniendo el grado de maestría en Biología por la *Universidad de Harvard* en 1938. En 1940 se trasladó a la Universidad de Michigan, en donde conoció y se casó con Isabella Lugosky. Trabajó en el proyecto Manhattan en la *Universidad de Chicago* y obtuvo el grado de doctor en 1944. Finalmente, en 1946, se trasladó al *Naval Research Laboratory* de Washington DC, en donde conoció a Herbert Hauptman.

La monografía publicada por Hauptman y Karle en 1953, *Solution of the Phase Problem I. The Centrosymmetric Crystal*, contenía ya las ideas más importantes sobre los métodos probabilísticos que, aplicados al problema de las fases, les hicieron merecedores del Premio Nobel de Química en 1985, pero no sería justo dejar de mencionar el papel de la esposa de Jerome, Isabella Karle (1921-), quien jugó un papel indiscutible, poniendo en práctica las ideas mencionadas.



### ACTIVIDAD DE INTEGRACIÓN:

1. Elabora por equipos una línea del tiempo en hojas de rotafolio, anotando las fechas más sobresalientes y los científicos que las realizaron, colócala en el frente del salón.
2. Reflexiona acerca de estas notables aportaciones a la ciencia y la tecnología y por medio de una lluvia de ideas coméntalas, y elabora un pequeño resumen de la actividad



## 1.2.- CRISTALOGRAFÍA

Cristalografía es la ciencia que estudia los cristales en su estructura interna, su forma y su clasificación.

*Cristal* es un cuerpo sólido, limitado naturalmente por superficies planas que constituyen la expresión exterior de un ordenamiento interno de los átomos o iones integrantes. Es decir que el estado cristalino es un poliedro de caras planas, cuya simetría refleja la estructura íntima cristalina.

### 1.2.1.- Vocabulario

**Amorfo:** se dice del cuerpo sólido carente de estructura cristalina, en el que las partículas se ordenan de forma irregular.

**Cristalino:** se dice del cuerpo cuyas partículas componentes se sitúan de acuerdo a una estructura geométrica.

**Cristal:** forma externa ideal de un sólido cristalino.

**Sólido cristalino:** cuerpo en estado sólido que se caracteriza por disponer sus componentes en una forma ordenada geoméricamente. A diferencia de «cristal», la expresión «sólido cristalino» se refiere más bien a la apariencia interna del cuerpo.

Todos hemos oído hablar de los minerales o cristales naturales. Los encontramos a diario sin necesidad de acudir a un museo. Una roca y una montaña están constituidas por minerales tan cristalinos como el azúcar de un terrón, un trozo de porcelana o el oro de un anillo. Sin embargo, sólo en ocasiones el tamaño de los cristales es lo suficientemente grande para llamar nuestra atención, como es el caso de estos bonitos ejemplares:



Diamante (carbono puro)



Escapolita (silicato de Al ...)



Pirita (sulfuro de hierro)

Los griegos llamaron *cristal* al cuarzo, **κρυσταλλος** (frio + goteo), es decir, carámbanos de extraordinaria dureza y muy fríos. Pero la formación de cristales no es exclusiva de los minerales y los encontramos también, aunque no necesariamente de modo natural, en los compuestos llamados orgánicos, e incluso en los ácidos nucleicos y las proteínas.

El estado cristalino de la materia es el de mayor orden, es decir, donde las correlaciones internas son mayores y a mayor rango de distancias. Y esto se refleja en sus propiedades que son anisotrópicas y discontinuas. Suelen aparecer como entidades puras, homogéneas y con formas geométricas definidas (*hábitos*) cuando están bien formados. Sin embargo, aquí una vez más, *el hábito no hace al monje* y su morfología externa no es suficiente para evaluar la denominada *cristalinidad* de un material.

## 1.2.2.- Cristalografía

(Del gr. crustaloz y -grafía) Ciencia que estudia los cristales y la forma que adoptan los cuerpos al cristalizar: la cristalografía está regida por leyes físico-químicas. Ciencia que se centra en el estudio de las sustancias cristalinas (cristales), de manera que describe su morfología externa, organización interna y sus propiedades físicas y químicas. Aunque la cristalografía comienza su desarrollo como una rama de la mineralogía, hoy en día se la considera como una ciencia en sí misma, que trata de la materia cristalina, ya sea de origen natural (minerales), o artificial. Por cristal se entiende toda sustancia sólida inorgánica de origen natural, composición química homogénea y con una estructura interna constituida por elementos que se repiten ordenadamente en el espacio y presentan ciertas relaciones de simetría.

Las partículas de los cuerpos sólidos, salvo excepciones, se ordenan en el espacio de acuerdo a determinados tipos de redes geométricas, también llamadas cristalinas. Esta ordenación, le da a los sólidos su consistencia y la mayor parte de sus propiedades.

## 1.2.3.- Generalidades

Los sólidos cristalinos tienden a adoptar estructuras internas geométricas basadas en líneas rectas y planos paralelos. Ahora bien, el aspecto externo de un cristal no es siempre completamente regular, pues depende de una serie de condiciones:

- Composición química: el sólido puede ser una sustancia simple o un compuesto, y puede contener impurezas que alteren la estructura cristalina y otras propiedades, como la consistencia o el color.
- Temperatura y presión: ambas variables influyen en la formación de los cristales y su crecimiento. Por lo general, los cristales se forman en condiciones de alta presión y elevadas temperaturas.
- Espacio y tiempo: el crecimiento de un cristal puede verse limitado por ambos, especialmente por el primero, ya que a menudo la falta de espacio es responsable del aspecto imperfecto que ofrecen algunos cristales en su apariencia externa.

En la naturaleza los cristales no son perfectos, puesto que no todas las caras tienen el mismo desarrollo. De acuerdo al mayor o menor desarrollo de sus caras podemos hacer una primera clasificación de los mismos en:

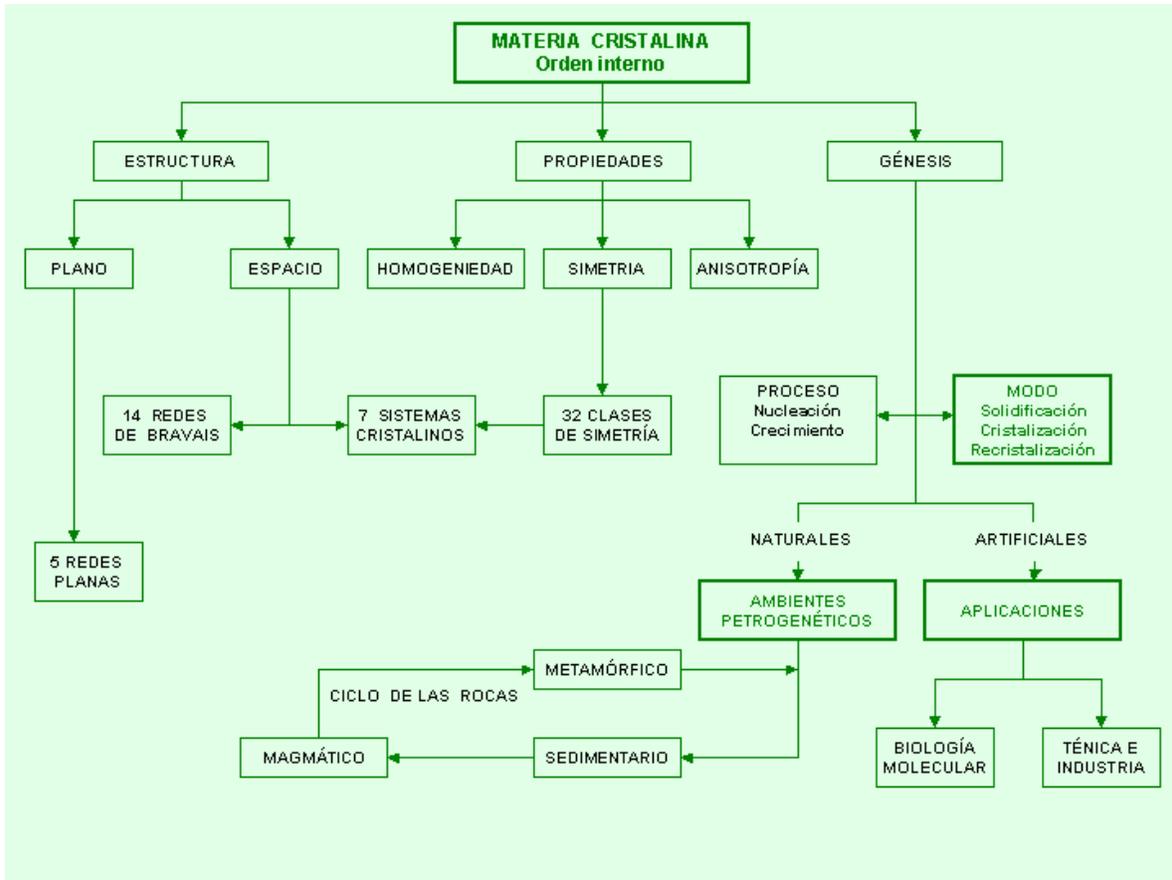
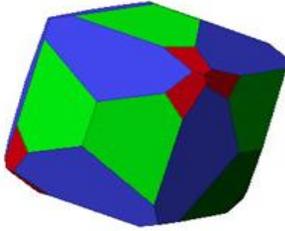
- 1- Euhedros: Cuando presentan todas sus caras desarrolladas.
- 2- Subhedros: Cuando algunas de sus caras están bien desarrolladas.
- 3- Anhedros: Cuando no presentan desarrollo en sus caras.

## 1.2.4.- Elementos Geométricos de un Cristal

Al observar un cristal diferenciamos:

- 1- Caras: Son los planos que determinan la forma y que constituyen la repetición indefinida de su estructura interna.
- 2- Aristas: Son el resultado de la intersección de dos caras.
- 3- Vértice: Corresponden a la intersección de dos o más aristas.

Se llaman elementos homólogos de un cristal a aquellos que tienen la misma posición en el espacio e idénticas propiedades físicas y químicas. Ej.: las caras de un cubo.



### Actividades

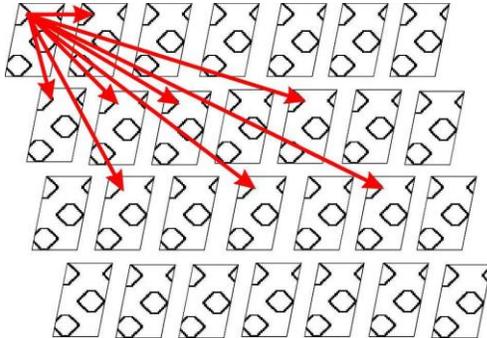
1. Elabora un mapa conceptual sobre la historia y conceptos de la cristalografía.
2. Por equipos elabora un collage de imágenes o dibujos para ejemplificar los conceptos de cristalografía

## 2.- EL CRISTAL PERIODICIDAD

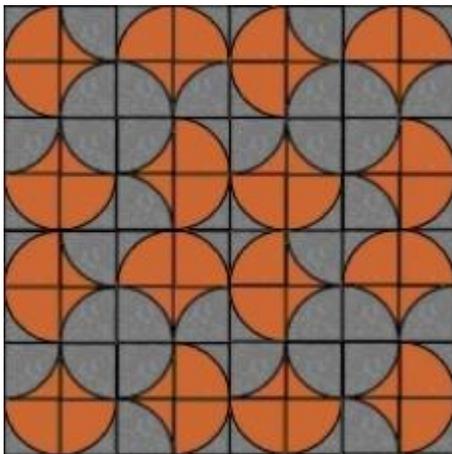
El cristal desde un punto de vista microscópico

Un medio cristalino está formado por un conjunto de átomos dispuestos en un orden bien definido generado por la repetición periódica tridimensional de un grupo de átomos, que constituyen el **motivo**.

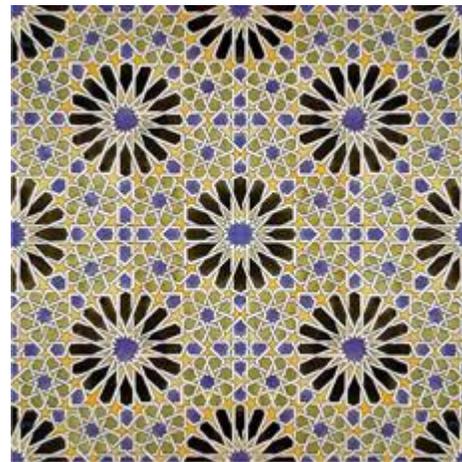
En cada motivo se puede definir un punto cualquiera, que se relaciona con los puntos homólogos de los otros motivos con vectores translación, lo extremos de los cuales, que se denominan nudos, definen la red cristalino. Esta asociación motivo-red es una característica fundamental del medio cristalino.



Cualquier distribución repetitiva de un objeto o *motivo*, viene caracterizada por el conjunto de las *traslaciones* que lo repiten periódicamente. A este conjunto de traslaciones lo denominamos *red directa*.

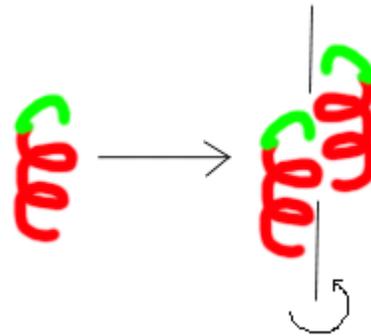


***Fragmento de una distribución repetitiva de motivos que dan lugar a una red directa en el plano (dos dimensiones)***



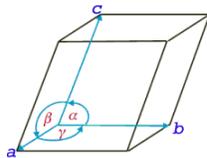
*Fragmento de un mosaico de La Alhambra mostrando igualmente repetición de motivos en dos dimensiones que dan lugar a una red directa*

Las traslaciones que describen las repeticiones en los cristales pueden expresarse como una combinación lineal de tres traslaciones básicas, no coplanares, es decir, independientes, que denominamos *ejes reticulares*. Estos ejes definen un paralelogramo (en dos dimensiones), o un paralelepípedo (en tres dimensiones) que se denomina *celdilla unidad*. Este área (o volumen) elemental, que encierra la parte mínima de la distribución, genera, mediante traslaciones, la distribución completa, que en el caso que nos ocupa (tres dimensiones) se llama *cristal*.

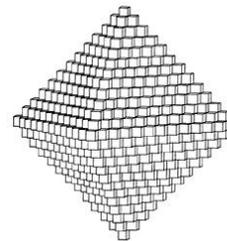


**Un motivo estructural o unidad asimétrica**

*El motivo estructural de la izquierda se repite mediante los*



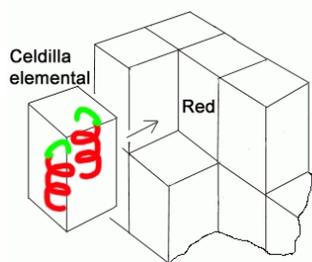
**Celda elemental definida por las tres traslaciones no coplanares denominadas ejes reticulares**



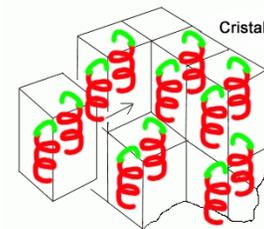
**Formación del cristal por apilamiento, en tres direcciones del espacio, de celdillas elementales.**

Dentro de la celda, y debido a los **elementos de simetría** de la distribución, hay una parte mínima (*unidad asimétrica*) que, por aplicación de la simetría, genera la *celda unidad*.

elementos de simetría, en este caso un eje helicoidal



La repetición del motivo (unidad asimétrica) genera el contenido de la celdilla elemental

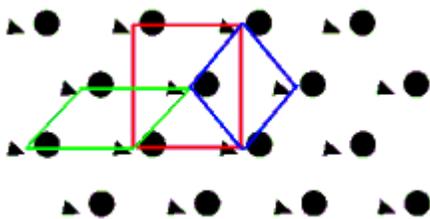


La repetición de celdillas elementales genera la totalidad del cristal

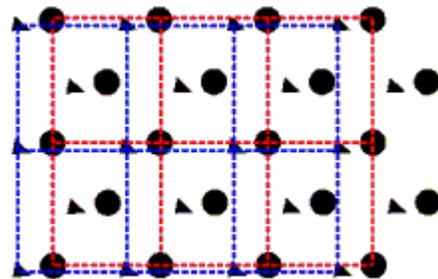
La red, que es un concepto puramente matemático, puede seleccionarse de varias maneras sobre una misma distribución repetitiva, aunque sólo alguna de estas redes está más de acuerdo con la simetría de la distribución de motivos.



**Distribución repetitiva de un motivo constituido por dos objetos**



**Celdillas unidad de posibles redes directas que pueden construirse sobre la distribución repetitiva de la figura superior. Sólo una de ellas (la roja) es la más acorde con la simetría de la distribución**



**La red roja de la figura de la izquierda, centrada, es la más acorde con la simetría de la distribución repetitiva, y puede descomponerse en dos redes idénticas, una para cada objeto del motivo.**

Tal como se muestra en la figura superior izquierda, cualquier red que describe el **motivo** total (triángulo + círculo) puede descomponerse en dos redes idénticas equivalentes (una para cada objeto del motivo total). De este modo, el concepto de red resulta independiente de la complejidad

del motivo de la distribución, así que puede usarse sólo una de las redes, ya que ésta representa a todas las equivalentes.

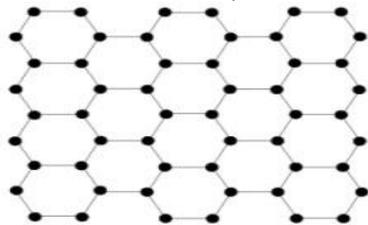
Con todo ello, nos preguntamos, ¿cuál es la peculiaridad que diferencia a los cristales de otros tipos de materiales?. Pues bien, la denominada *estructura cristalina* está caracterizada microscópicamente por la agrupación de iones, átomos o moléculas según un modelo de *repetición periódica*, y el concepto de periodicidad es sencillo de entender si pensamos en los motivos de una alfombra oriental, dibujos de la Alhambra, una formación de tipo militar...



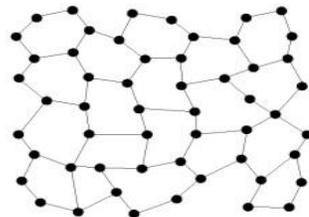
Si nos fijamos con detenimiento, en estos dibujos hay siempre una fracción de los mismos que se repite. Pues bien, en los cristales, los átomos, los iones o las moléculas se empaquetan dando lugar a motivos que se repiten desde cada 5 Angstrom hasta las centenas de Angstrom (1 Angstrom =  $10^{-8}$  cm), y a esa repetitividad, en tres dimensiones, la denominamos **red cristalina**.

El conjunto que se repite, por traslación ordenada, genera toda la red (todo el cristal) y lo denominamos celdilla elemental ó celdilla unidad. Para generalizar, su contenido (átomos, moléculas, iones), o sea el motivo que se repite, puede describirse por un punto (el punto reticular) que representa a todos y cada uno de los constituyentes del motivo. Por ejemplo, cada soldado sería un punto reticular. En la materia condensada, un monocristal es un dominio, generalmente poliédrico, de un medio cristalino.

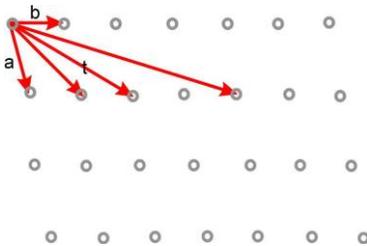
Pero hay ocasiones en las que la repetitividad se rompe, no es exacta, y precisamente esa característica es lo que diferencia a los cristales de los vidrios o en general de los llamados materiales amorfos (desordenados o poco ordenados)...



Modelo atómico en un material ordenado (cristal)



Modelo atómico de un vidrio



## 2.1. El cristal desde un punto de vista macroscópico

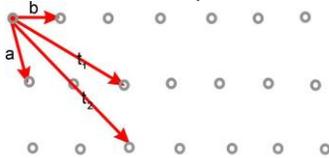
El modelo anterior implica “ver” los átomos que forman el cristal, no obstante, la interpretación del estudio del medio cristalino con técnicas que no permiten este nivel de definición (la luz visible, por ejemplo) se puede hacer en base a otro modelo que se podría llamar *macroscópico*.

Desde este punto de vista, el cristal se puede considerar *una masa* homogénea de propiedades vectoriales discontinuas. Este aspecto lo diferencia de los vidrios, que no presentan propiedades vectoriales discontinuas.

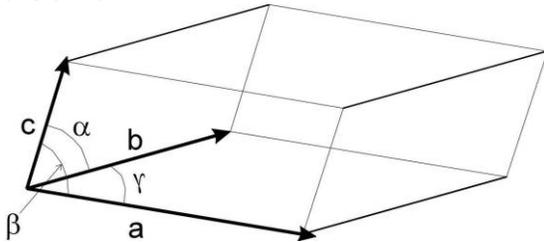
## 2.2. PERIODICIDAD

La red, imaginada como una abstracción del medio cristalino, está formada por nudos, entre cada pareja de los cuales se puede dibujar un vector traslación.

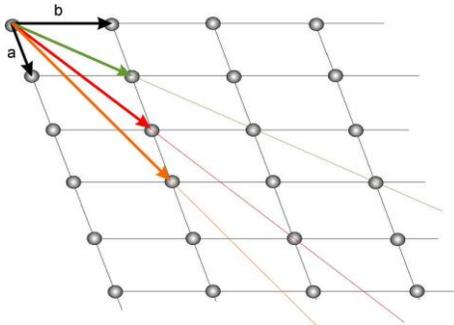
En una red bidimensional es posible localizar dos vectores no colineales (tres no coplanarios si la red es tridimensional), de tal manera que todos los demás se pueden expresar como combinación lineal de estos, que se denominan vectores fundamentales.



Los tres vectores fundamentales definen un paralelepípedo que se conoce como **celda fundamental**, y su repetición en el espacio genera toda la red. Por tanto, el tamaño, forma y contenido de la celda fundamental permiten definir unívocamente el espacio cristalino.



Las características de la celda fundamental se expresan a partir de los vectores fundamentales que la definen y de los ángulos que forman entre ellos, con la convención que indica la figura. También es posible definir **filas reticulares**, como sucesiones de nudos alineados.



Las filas definidas por los vectores fundamentales  $a$ ,  $b$  y  $c$ , se llaman **filas fundamentales**, y constituyen el sistema de ejes de referencia que se emplea para describir y efectuar cálculos en la red cristalina. Hay que notar que se trata de un sistema de ejes no necesariamente ortogonal, en los que los vectores “unidad de medida” en cada dirección son  $a$ ,  $b$  y  $c$  (que no tienen el valor 1).

Igualmente, se pueden definir **planos reticulares**, como aquellos formados por conjuntos de nudos coplanarios. Obviamente, tres nudos cualesquiera no alineados

definen un plano reticular.

## 2.3 - REDES RECÍPROCAS

A partir del retículo definido anteriormente, en el que como cada nudo corresponde a un motivo o llamaremos retículo directo, es posible definir otro retículo (que llamaremos recíproco) en el cual los tres vectores fundamentales son:

El redes recíprocas tiene dos propiedades fundamentales:

- un vector  $r^*(hkl)$  del redes recíprocas es perpendicular al plano  $(hkl)$  del retículo directo.
  - el modulo del vector  $r^*(hkl)$  es igual al inverso del espaciado reticular de los planos  $(hkl)$  del retículo directo.
- a) El plano  $(hkl)$  más próximo al origen corta los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$  a, respectivamente.

## 3.- SIMETRÍA

### 3.1.- Nociones de simetría

Muchas veces nos pasa desapercibido, pero convivimos continuamente con la simetría ...

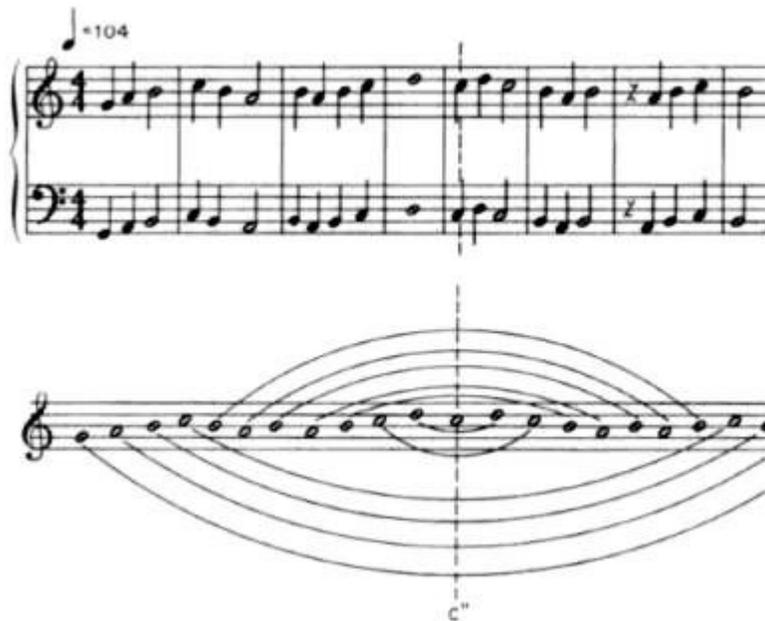
La simetría es la constancia, la repetición de algo en el espacio y/o en el tiempo, como muestran los ejemplos de abajo: grecas, pétalos de una flor, la sucesión de noche y día, una pieza musical, etc.



***Simetría por repetición de motivos en una greca o en las flores. La greca muestra repetición de motivos por translación. Las flores muestran repetición de motivos mediante giros. La flor de la izquierda muestra, aproximadamente, un eje de rotación de orden 8 ( 8 pétalos idénticos alrededor de un eje de rotación). La flor de la derecha muestra un eje de rotación de orden 3 (dos familias diferentes de pétalos que se distribuyen alrededor del eje de rotación). Además, cada pétalo muestra un plano de simetría que lo divide en dos partes idénticas (aproximadamente).***



***Simetría por repetición de eventos: Noche - Día - Noche ...***



Symmetry

**Simetría en una pieza musical. Fragmento de "Six unisono melodias" de Bartók.  
(El pentagrama de abajo representa la simetrización de la partitura de arriba)**

**La palabra simetría, escrita en inglés (Symmetry) con un cierto cuidado y distorsionando algo las letras, muestra un eje binario (giro de 180°) perpendicular a la pantalla**

Esta frase, probablemente conocida por muchos lectores, nos sirve también para ilustrar el concepto de *simetría*:

**Dábale arroz a la zorra el Abad**

en donde si olvidamos los acentos y nos quedamos sólo con las letras, se convierte en:

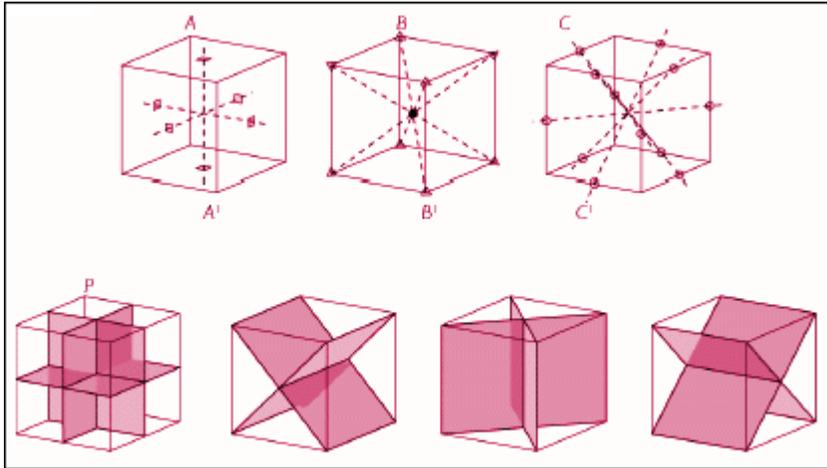
**D A B A L E A R R O Z A L A Z O R R A E L A B A D**

que se puede leer de derecha a izquierda con el mismo significado que más arriba. Es un caso parecido al de los números "capicúa" (232 ó 679976).

### 3.2. La simetría

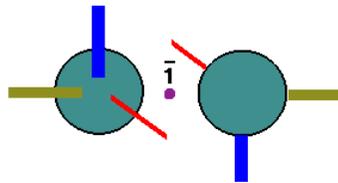
Los cuerpos cristalinos forman redes que se ordenan en torno a una serie de elementos de simetría, cuya cantidad y distribución determina los diferentes sistemas de cristalización:

- Ejes de simetría: son líneas imaginarias que cruzan el interior de la estructura cristalina. Al girar 360° hacen que el motivo geométrico del cristal se repita un número determinado de veces. Los ejes de simetría pueden ser binarios, ternarios, cuaternarios y senarios, según el número de repeticiones que generen.
- Planos de simetría: son superficies planas que dividen el cristal en dos mitades exactamente iguales.
- Centros de simetría: son puntos imaginarios situados en el interior del cristal. Por ellos pasan los principales ejes y planos de simetría.



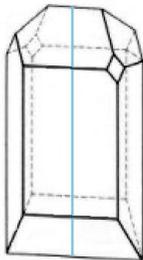
Distribución de los ejes y planos de simetría en el sistema cúbico.

Concretándonos a los objetos finitos, existen varias operaciones (*elementos de simetría*) que describen las repeticiones. En las grecas nos encontramos con *operaciones de traslación* (el motivo se repite por traslación). La repetición de los pétalos de las flores nos conduce a operaciones de giro (el motivo se repite por giro) alrededor de *ejes de simetría* y, aunque no exactamente, la simetría que nos muestra la partitura o la frase sobre el Abad nos llevaría a considerar las operaciones denominadas *planos de simetría* (la operación que ocurre cuando uno se mira en un espejo). Análogamente, por ejemplo, si nos fijamos en la relación entre los objetos tridimensionales de la figura de abajo, descubriremos un nuevo elemento de simetría denominado *centro de simetría*, que sería el punto imaginario colocado entre ambos objetos:

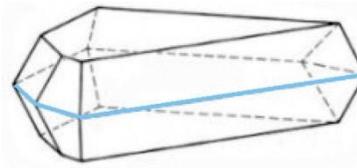


**Dos objetos relacionados por un centro de simetría**

Combinando estos elementos de simetría con las traslaciones características de un cristal (que veremos más abajo), surgen nuevos elementos de simetría con componentes de deslizamiento (*ejes helicoidales* y *planos de deslizamiento*).

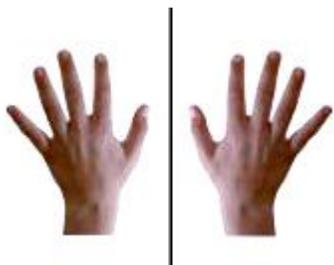


Poliedro mostrando un eje de rotación binario que pasa por los centros de las aristas de arriba y abajo



Poliedro mostrando un plano de simetría que relaciona la parte de arriba con la de abajo

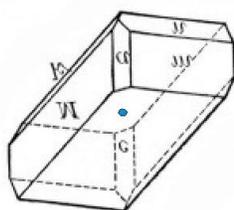
Los elementos de simetría del tipo *centro* y *plano*, relacionan de un modo peculiar los motivos que repiten, el mismo modo que relaciona entre sí nuestras manos, que no son superponibles. Los motivos que no contienen en sí mismos ninguno de estos elementos de simetría (centro o plano) se denominan quirales y su repetición mediante estos elementos de simetría (centro o plano) genera objetos que se denominan enantiómeros respecto de los originales (la imagen especular de una de nuestras manos es enantiómera de la que ponemos delante del espejo).



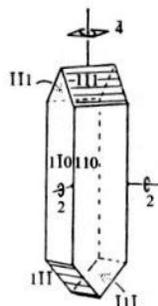
*La imagen especular de cualquiera de nuestras manos es el enantiómero de la otra mano. Son objetos no superponibles y al no contener en sí mismas ni centros ni planos de simetría se denominan objetos quirales.*

*Las moléculas quirales tienen propiedades diferentes de sus enantiómeros y su diferenciación es importante. La determinación correcta de la estructura ó configuración absoluta de una molécula (diferenciación entre enantiómeros) puede realizarse de un modo seguro exclusivamente mediante la difracción de rayos X, pero eso será objeto de otro apartado más adelante.*

La asociación de elementos de rotación con centros o planos de simetría genera nuevos elementos de simetría llamados rotaciones impropias.



*Poliedro que muestra únicamente un centro de simetría en su punto medio*



*Eje de rotación impropia, en sentido vertical, en un cristal de urea (sobre las tríadas de índices que aparecen en la figura se hablará más adelante)*

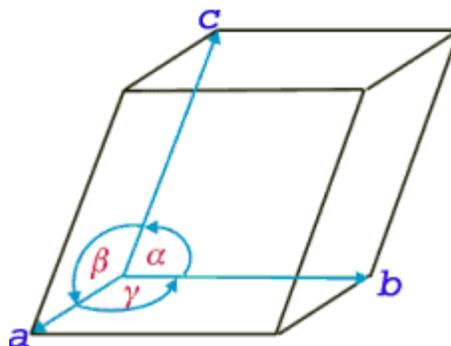
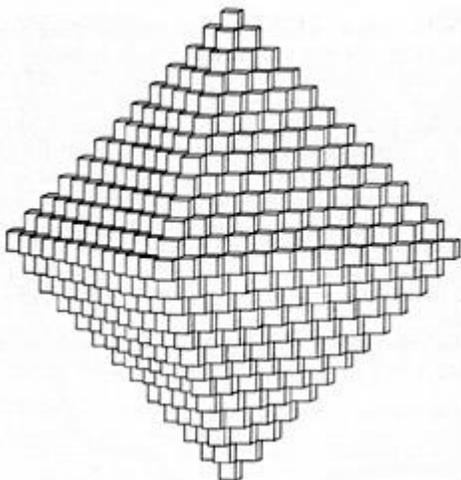
### 3.3 Simetría puntual

Así pues, cualquier objeto finito (como un cristal de cuarzo, una silla, o una flor) muestra determinadas partes de él que se repiten mediante operaciones de simetría, y éstas pasan por un punto del objeto, formando lo que se denomina grupo puntual de simetría del objeto.

Pero para poder seguir hablando de la simetría en los cristales, es necesario en este momento recordar un concepto fundamental relacionado con la repetición por traslación...

La repetición periódica por la que se describe la estructura interna de los cristales viene representada por un conjunto de traslaciones en las tres direcciones del espacio, de tal forma que el cristal puede considerarse como un apilamiento, en tres dimensiones, de bloques idénticos. Cada bloque, de una forma y tamaño determinado (pero todos iguales), se denomina celdilla

unidad ó celdilla elemental. Su tamaño viene determinado por la longitud de sus tres aristas (a, b, c), y la forma por el valor de los ángulos entre dichas aristas (alpha, beta, gamma:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).



Apilamiento de celdillas formando un cristal octaédrico Parámetros que caracterizan la forma y tamaño de una celdilla elemental (ó celdilla unidad)

En los cristales, los ejes de simetría sólo pueden ser binarios (2), ternarios (3), cuaternarios (4) ó senarios (6), dependiendo del número de repeticiones que se produzcan del motivo (*orden de la rotación*). Así, un eje de orden 3 (ternario) produce 3 repeticiones del motivo, una cada  $360/3=120$  grados de giro. Las *rotaciones impropias* se designan con el número de orden de la rotación, con una barra encima del número. Los ejes helicoidales se representan con el número de orden de la rotación, con un subíndice añadido que cuantifica el deslizamiento a lo largo del eje. Así, un eje helicoidal del tipo  $6_2$  representa que en cada una de las 6 rotaciones, la traslación asociada es de  $2/6$  de la periodicidad en la dirección del eje de la celdilla elemental.

Los *planos de simetría* se representan por la letra m.

Los *planos de deslizamiento* se representan por las letras a, b, c, n ó d, dependiendo de que la traslación asociada a la reflexión sea paralela a las traslaciones reticulares (a, b, c) o a una diagonal de un plano reticular (n) ó a una diagonal de la celdilla elemental (d).

Las letras o números que representan a los elementos de simetría tienen también una equivalencia con determinados **símbolos gráficos**.

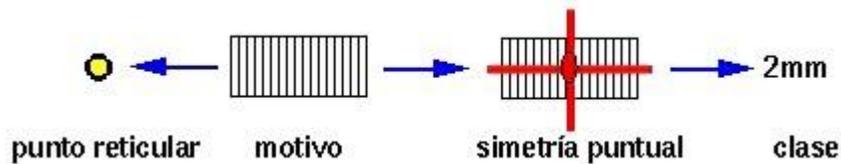
### 3.4 .- Grupos de simetría puntual

Tal como hemos dicho más arriba, el conjunto de elementos de simetría de un objeto finito, que pasan por un punto, definen la simetría total del objeto y se denominan *grupo puntual de simetría*.

*Grupos puntuales* hay muchos, pero en los cristales han de ser compatibles con la periodicidad (repetitividad por traslación) que los describe internamente. Así, en los cristales no son posibles las rotaciones (*ejes de simetría*) de orden 5 (un objeto que se repita a sí mismo, mediante giro, 5 veces). Con todo ello, en los cristales nos encontramos con sólo 32 *grupos puntuales* posibles, que se denominan *clases cristalinas*.

grupo puntual . periodicidad por traslación en el cristal = 32 clases cristalinas

## Representación gráfica de las 32 clases cristalinias



*El motivo constituido por un simple ladrillo, que puede representarse por un punto reticular, contiene la simetría puntual 2mm*

El lector interesado puede disponer de visualizaciones animadas de las 32 clases cristalinias a través de estos enlaces:

Triclínico	<u>1</u>	<u>1</u>					
Monoclínico	<u>2</u>	<u>m</u>	<u>2/m</u>				
Ortorrómbico	<u>222</u>	<u>mm2</u>	<u>mmm</u>				
Tetragonal	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4/m</u>	<u>422</u>	<u>4mm</u>	<u>42m</u>	<u>4/mmm</u>
Cúbico	<u>23</u>	<u>m3</u>	<u>432</u>	<u>43m</u>			
Trigonal	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>32</u>	<u>3m</u>	<u>3m</u>		
Hexagonal	<u>6</u>	<u>6</u>	<u>6/m</u>	<u>622</u>	<u>6mm</u>	<u>6m2</u>	<u>6/mmm</u>

### 3.4.1. Las redes cristalinias

Los componentes elementales de un cuerpo sólido pueden ser de cuatro tipos:

- Átomos: partículas elementales de materia con carga eléctrica neutra.
- Iones: átomos con carga eléctrica negativa (aniones) o positiva (cationes) debido a la transferencia o recepción, respectivamente, de uno o más electrones.
- Grupos iónicos: agrupación de varios iones del mismo o diferentes elementos químicos.
- Moléculas: agrupación de varios átomos del mismo o de diferentes elementos.

La ordenación geométrica de estos componentes en las tres direcciones del espacio da lugar a la formación de una red cristalina, una trama geométrica basada en la repetición de un cuerpo tridimensional determinado.

Existen catorce tipos de redes cristalinias, también llamadas redes de Bravais, que a su vez se agrupan en siete sistemas cristalinios:

- **Triclínico.**
- **Monoclínico:** simple y de bases centradas. Presenta un eje binario.
- **Rómbico:** simple, centrado, de bases centradas, y de caras y bases centradas. Posee tres ejes binarios.
- **Romboédrico:** posee un eje ternario.
- **Hexagonal:** presenta un eje cuaternario.
- **Tetragonal:** simple y centrado. Tiene un eje cuaternario.
- **Cúbico:** simple, centrado y de caras centradas. Presenta cuatro ejes ternarios.

### 3.4.2.- Redes de Bravais

De las 32 clases cristalinas, sólo 11 contienen al operador *centro de simetría* y a éstas *clases cristalinas centrosimétricas* se les conoce con el nombre de *grupos de Laue*.

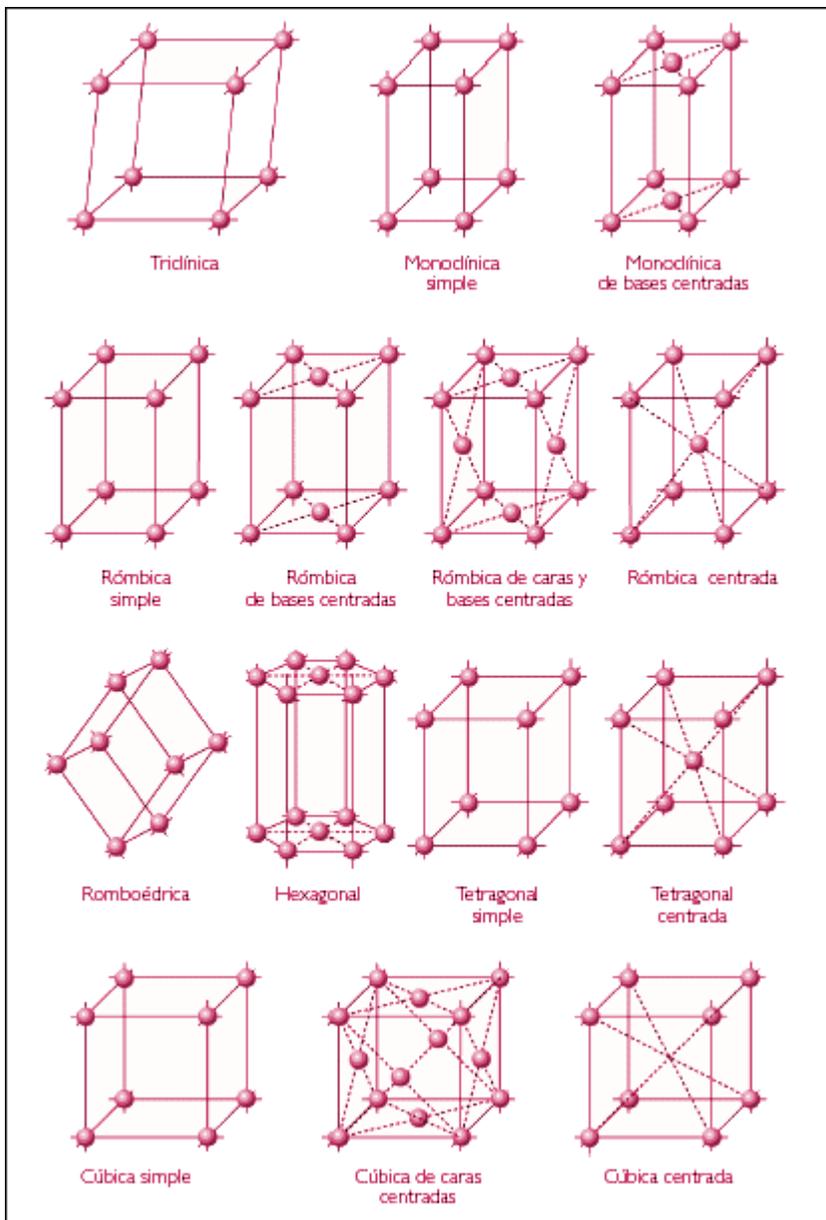
**clase cristalina . centro de simetría = 11 grupos de Laue**

**Representación gráfica de los 11 grupos de Laue (clases centrosimétricas)**

A su vez, en los cristales, las formas de repetición por traslación tienen que ser compatibles con la simetría puntual (las 32 clases cristalinas), de modo que sólo nos encontramos con *14 tipos de redes de traslación* que son compatibles con las clases cristalinas. A estos tipos de redes (modos de repetición por traslación) de los cristales se les llama también *redes de Bravais* ([las puedes ver aquí](#)). La simetría traslacional de una distribución ordenada de objetos en 3 dimensiones se puede describir mediante muchos tipos de redes, pero hay una que se adecúa más al objeto, es decir, que describe mejor, a la vez, la simetría propia del objeto. Y es que, como las redes a su vez tienen su propia distribución de elementos de simetría, hay que adecuar éstos a los de la estructura.

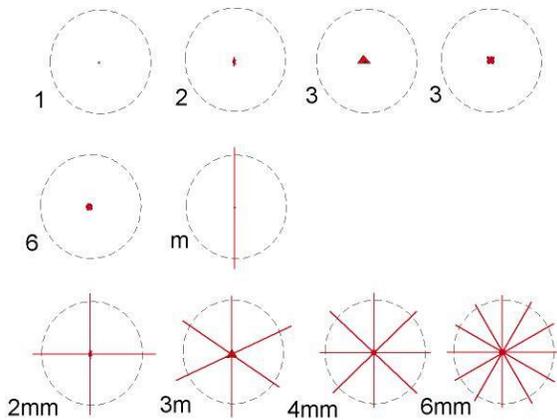
#### *Las redes de Bravais*

A partir de los siete sistemas cristalinos se han podido describir catorce redes cristalinas, que son llamadas también *redes de Bravais*, en honor al mineralogista francés del siglo XIX Auguste Bravais, que fue el primero en proponer la hipótesis de la **estructura reticular de los minerales**.



Las catorce redes cristalinas de Bravais.

**ACTIVIDAD:** Se sugiere al estudiante que busque en algunos de los libros recomendados en la bibliografía las proyecciones de los 32 grupos de simetría puntual y se familiarice con ellos.



### 3.5.- Sistemas cristalinos

Los 32 grupos puntuales se agrupan en diversos sistemas cristalinos por la presencia de determinada combinación de ejes, lo que se podría llamar “la característica simétrica” del sistema. Más adelante se podrá comprobar que cada sistema se caracteriza por una determinada celda fundamental, que responde a la simetría del sistema, no obstante, ahora es posible esta clasificación sobre la base de las características simétricas.

Si se agrupan los grupos puntuales por la simetría común se pueden encontrar una serie de grupos que todos tienen un único eje cuaternario, o un único eje ternario, o binario, etc. Si se parte de la mínima simetría, por ejemplo un solo eje cuaternario, se puede proponer un esquema deductivo que permite llegar al resto de grupos de idéntica característica simétrica.

Por ejemplo para los grupos con un solo eje de orden 4:

- Si al grupo 4 se añade un centro de inversión se genera el grupo 4/m
- Si al 4 se le añade un eje binario (en la única posición posible, según se ha demostrado anteriormente), se genera el grupo 422
- Si al 4 se le añade un plano que contiene el eje, da el grupo 4mm
- Y si al 422 se le añade un centro de inversión, aparece el grupo 4/mmm

En el caso de la simetría de 4º orden, existe también el eje cuaternario de inversión 4, que se puede combinar con un eje binario perpendicular (o con un plano que lo contenga) para dar el grupo 42m.

Este esquema deductivo se puede repetir con el grupo 23, con el 3, con el 6..., y cada conjunto de grupos puntuales (con algunas excepciones que se comentarán) constituyen un *sistema cristalino*, de manera que finalmente se clasifican en SIETE sistemas cristalinos:

- **cúbico**, partiendo del grupo 23
- **tetragonal**, partiendo de los grupos 4 y 4
- **trigonal**, partiendo del grupo 3
- **hexagonal**, partiendo del grupo 6
- **rómbico**, partiendo del grupo 222
- **monoclínico**, partiendo del grupo 2
- y **triclínico**, partiendo del grupo 1.

Obviamente, en los casos de baja simetría (ordenes 2 y 1), el esquema no se cumple totalmente, y por ejemplo, si el esquema se aplica a la simetría binaria:

- 2 (grupo del sistema monoclínico)
- 2 +  $\rightarrow$  2/1 m (grupo del sistema monoclínico)
- 2 + 2  $\rightarrow$  222 (grupo del sistema rómbico)
- 2 + m  $\rightarrow$  2mm (grupo del sistema rómbico)
- 222 + 1  $\rightarrow$  mmm (grupo del sistema rómbico)

(Históricamente existió la “singonia” digonal - que respondía al esquema anterior -, y que se dividía en dos sistemas, rómbico y monoclinico, caracterizados por la presencia de tres y un ejes de orden 2, respectivamente).

### 3.5.1. Algunos minerales cristalinos

Pirita, diamante, sal gema (sistema cúbico).  
Yeso, mica, malaquita (sistema monoclinico).  
Axinita, feldespato (sistema triclinico).  
Esmeralda, calcita, cuarzo (sistema hexagonal).  
Baritina, azufre (sistema ortorrómbico).  
Vesubiana, casiterita (sistema tetragonal).

## 4.- Cristaloquímica

### 4.1.- INTRODUCCIÓN

#### Cristaloquímica



La cristaloquímica es una rama de la cristalografía que estudia la composición de la materia cristalina y su relación con la fórmula cristalográfica. Incluye el estudio de los enlaces químicos, la morfología y la formación de estructuras cristalinas, de acuerdo con las características de los átomos, iones o moléculas, así como su tipo de enlace. Cuando las condiciones ambientales son favorables para la formación, muchos de los minerales toman una forma cristalina. La cristalografía, también, estudia la forma, el crecimiento y el estado geométrico de los cristales. En un cristal, la disposición de los átomos se puede determinar al ver la difracción de los rayos X.

### 4.1.1.- Enlaces Químicos

Prácticamente todas las sustancias que encontramos en la naturaleza están formadas por átomos unidos. Las intensas fuerzas que mantienen unidos los átomos en las distintas sustancias se denominan enlaces químicos.

#### ¿Por qué se unen los átomos?

Los átomos se unen porque, al estar unidos, adquieren una situación más estable que cuando estaban separados. Esta situación de mayor estabilidad suele darse cuando el número de electrones que poseen los átomos en su último nivel es igual a ocho, estructura que coincide con la de los gases nobles. Los gases nobles tienen muy poca tendencia a formar compuestos y suelen



encontrarse en la naturaleza como átomos aislados. Sus átomos, a excepción del helio, tienen 8 electrones en su último nivel. Esta configuración electrónica es extremadamente estable y a ella deben su poca reactividad.

Podemos explicar la unión de los átomos para formar enlaces porque con ella consiguen que su último nivel tenga 8 electrones, la misma configuración electrónica que los átomos de los gases nobles. Este principio recibe el nombre de regla del octeto y aunque no es general para todos los átomos, es útil en muchos casos.



## 4.1.2.-Distintos tipos de enlaces

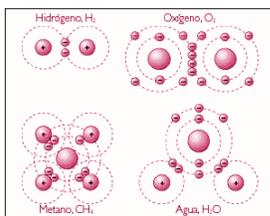
Las propiedades de las sustancias dependen en gran medida de la naturaleza de los enlaces que unen sus átomos.

Existen tres tipos principales de enlaces químicos: enlace iónico, enlace covalente y enlace metálico. Estos enlaces, al condicionar las propiedades de las sustancias que los presentan, permiten clasificarlas en: iónicas, covalentes y metálicas o metales.

### 4.1.2.1. Enlace Metálico

Para explicar las propiedades características de los metales (su alta conductividad eléctrica y térmica, ductilidad y maleabilidad, ...) se ha elaborado un modelo de enlace metálico conocido como modelo de la nube o del mar de electrones:

Los átomos de los metales tienen pocos electrones en su última capa, por lo general 1, 2 ó 3. Éstos átomos pierden fácilmente esos electrones (electrones de valencia) y se convierten en iones positivos, por ejemplo  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Los iones positivos resultantes se ordenan en el espacio formando la red metálica. Los electrones de valencia desprendidos de los átomos forman una nube de electrones que puede desplazarse a través de toda la red. De este modo todo el conjunto de los iones positivos del metal queda unido mediante la nube de electrones con carga negativa que los envuelve.



Los cuerpos metálicos presentan un tipo de enlace de gran cohesión debido a que varios átomos comparten una nube de electrones que circulan de una órbita a otra sin pertenecer a un núcleo concreto. Esta propiedad, característica de elementos poco electronegativos, proporciona a los metales sus propiedades de dureza, tenacidad y gran conductividad electrotérmica.

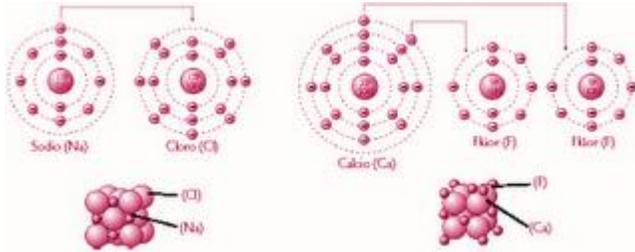
### 4.1.2.2. Enlace Covalente

Los enlaces covalentes son las fuerzas que mantienen unidos entre sí los átomos no metálicos (los elementos situados a la derecha en la tabla periódica -C, O, F, Cl, ...). Estos átomos tienen muchos electrones en su nivel más externo (electrones de valencia) y tienen tendencia a ganar electrones más que a cederlos, para adquirir la estabilidad de la estructura electrónica de gas noble. Por tanto, los átomos no metálicos no pueden cederse electrones entre sí para formar iones de signo opuesto. En este caso el enlace se forma al compartir un par de electrones entre los dos átomos, uno procedente de cada átomo. El par de electrones compartido es común a los dos átomos y los mantiene unidos, de manera que ambos adquieren la estructura electrónica de gas noble. Se forman así habitualmente moléculas: pequeños grupos de átomos unidos entre sí por enlaces covalentes.

Ejemplo: El gas cloro está formado por moléculas,  $\text{Cl}_2$ , en las que dos átomos de cloro se hallan unidos por un enlace covalente.

En otros casos un mismo átomo puede compartir más de un par de electrones con otros átomos. Por ejemplo en la molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) el átomo de oxígeno central comparte un par de

electrones con cada uno de los dos átomos de hidrógeno. Estos pares de electrones compartidos se representan habitualmente por una barra entre los dos átomos unidos



En los cristales formados únicamente por enlaces covalentes, un átomo se enlaza con sus vecinos, y estos con los suyos, y así sucesivamente, de tal manera que todo el cristal puede ser considerado como una molécula casi infinita. Este enlace tiene lugar entre átomos de elevada y similar electronegatividad. Si la diferencia de electronegatividades entre los átomos crece, el enlace llega a ser polar, y por tanto se puede imaginar una variación continua de polarización del enlace entre los enlaces covalentes “puros” y los enlaces iónicos. Esto quiere decir que un enlace covalente no polar solo puede tener lugar entre átomos de la misma naturaleza.

#### DIAMANTE

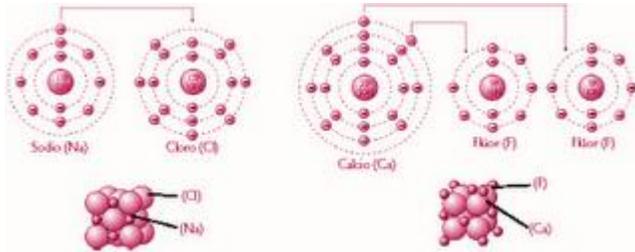
Una estructura típicamente covalente es la que tiene lugar entre los átomos de carbono cuando forman el diamante, estructura que también se da en el germanio y en el estaño-alfa. En este caso los orbitales de enlace son orbitales híbridos  $2(sp^3)$ , que se disponen en las direcciones de los vértices de un tetraedro en el centro del cual estaría el núcleo (de hecho esta es la disposición que minimiza la repulsión eléctrica entre ellos al mantener el ángulo de separación lo más grande posible). Por tanto, en el diamante, cada átomo de carbono se enlaza con otros cuatro en coordinación tetraédrica, controlada por la disposición de los orbitales de enlace. Esto da lugar a una estructura de simetría cúbica F, con los carbonos en las posiciones  $(0,0,0)$  y  $(1/4,1/4,1/4)$  y equivalentes, como se muestra en la siguiente figura, en la cual se han señalado dos de los tetraedros de coordinación de dos átomos de carbono.

#### 4.1.2.3. Enlace Iónico

Este enlace se produce cuando átomos de elementos metálicos (especialmente los situados más a la izquierda en la tabla periódica -períodos 1, 2 y 3) se encuentran con átomos no metálicos (los elementos situados a la derecha en la tabla periódica -especialmente los períodos 16 y 17).

En este caso los átomos del metal ceden electrones a los átomos del no metal, transformándose en iones positivos y negativos, respectivamente. Al formarse iones de carga opuesta éstos se atraen por fuerzas eléctricas intensas, quedando fuertemente unidos y dando lugar a un compuesto iónico. Estas fuerzas eléctricas las llamamos enlaces iónicos.

Ejemplo: La sal común se forma cuando los átomos del gas cloro se ponen en contacto con los átomos del metal sodio.



Son los cristales constituidos por un conjunto de iones de signo contrario unidos por fuerzas de carácter mayoritariamente electrostático, y en los cuales todo el cristal podría ser considerado como una molécula porque los iones estén enlazados con sus vecinos, y estos con los otros y así sucesivamente.

Los iones tienden a empaquetarse de manera que se minimice la energía, y esto se cumple cuando:

- a) las cargas de los iones son neutralizadas por los vecinos inmediatos, es decir que los vecinos de los cationes son aniones y viceversa.
- b) los empaquetados tienden a ser lo más compactos posible, sin que la distancia entre dos iones sea menor que la suma de los respectivos radios iónicos, de manera que si consideramos los iones esféricos, serían tangentes los unos a los otros.

## 5.- Cristalofísica

### Propiedades de los cristales

#### 5.1.- Introducción

#### Sólidos Cristalinos

***Los Sólidos Cristalinos Son la Segunda Gran División de los Sólidos:***

En el estado Sólido las moléculas, iones o átomos están unidos por fuerzas relativamente intensas, formando un todo compacto.

La mayor proximidad entre sus partículas, es una característica de los sólidos, y permite que entren en juego las fuerzas de enlace, las cuales ordenan el conjunto dando lugar a una red cristalina. Las partículas ocupan posiciones definidas y sus movimientos se limitan a vibraciones en torno al vértice de la red cristalina, por esta razón los sólidos poseen forma y volumen definido.



Los sólidos en la naturaleza, la mayoría son cristalinos, pero dicha estructura ordenada no se

refleja en forma geométrica regular que se vea a simple vista. Debido a que por lo general, están formados por pequeños cristales orientados de diferentes maneras, es decir, en una estructura POLICRISTALINA.

En la red cristalina sus componentes elementales pueden ser átomos, iones o moléculas, por eso no se puede hablar de la molécula de un cristal, sino más bien de un retículo elemental o celdilla unidad la que se repite una y otra vez en una estructura periódica o red cristalina.

Las propiedades físicas de los sólidos ( tiempo de fusión, capacidad para conducir corriente, resistencia a la deformación ,dureza, entre otras.) dependen de las fuerzas de enlace entre sus partículas, ejemplos de estas son los sólidos: iónicos, formados por moléculas apolares y/o polares, metálicos y covalentes.

- **Sólidos iónicos(Sales):**

- Son duros y a la vez frágiles .
- Poseen altos puntos de fusión.
- Son malos conductores de electricidad.
- Sus disoluciones presentan a su vez una conductividad elevada.

- **Sólidos formados por moléculas apolares:- Cl<sub>2</sub>,H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>**

- Son blandos gracias a la debilidad en sus fuerzas de atracción, "Vander Waals".
- Su punto de fusión es bajo, por lo que sólo a bajas temperaturas, las fuerzas ordenadoras del enlace predominan sobre el efecto disgregador del calor.
- Poseen conductibilidad eléctrica pero ésta es extremadamente baja, por ausencia de cargas libres.

- **Sólidos polares:**

-H<sub>2</sub>O

- Posee características intermedias entre los sólido iónicos y los formados por moléculas apolares.

- **Sólidos metálicos:**

-Se caracteriza por su enlace metálico con gas de electrones externos compartidos, debido a esto podemos decir :



- Son buenos conductores eléctricos y de calor.
- Son dúctiles.
- Son maleables.
- Poseen puntos de fusión alta.

- **Sólidos covalentes:**

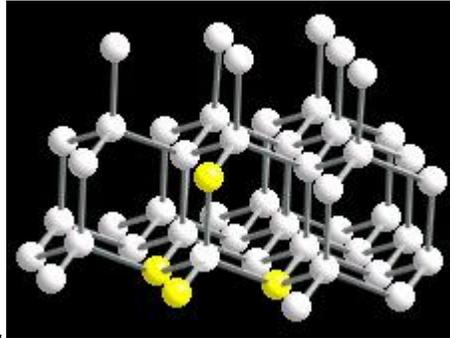
-Están formados por una red tridimensional de enlaces atómicos fuertes, dando lugar a propiedades como:

- Poseen elevados puntos de fusión.
- Tienen escasa conductividad.
- Poseen extraordinaria dureza.

### Ejemplos de sólidos cristalinos:

En los ejemplos podemos encontrar una gran cantidad de polímeros naturales. Estas partículas pueden ser átomos unidos por enlaces covalentes (diamante y metales) o iones unidos por electrovalencia (cloruro de sodio). Algunos ejemplos son:

- **Diamante**
- **Cuarzo. Rubí.**



- **Cloruro de sodio. Sulfato de cobre.**
- **Azúcar**

## 5.2. Propiedades físicas

La propiedades físicas de los cristales (mecánicas, ópticas, eléctricas, etc.) dependen de su estructura atómica y, en particular, de la naturaleza de los enlaces químicos y de la simetría.

Un mismo elemento o compuesto puede cristalizar en diferentes estructuras que posean propiedades distintas. Por ejemplo, el carbono puede cristalizar.

1. En forma de diamante, de simetría cúbica y enlaces covalentes fuertes; es el más duro de los cristales y es semiconductor.
2. En forma de grafito, de simetría hexagonal, constituido por un apilamiento de planos unidos entre sí por enlaces de tipo Van der Waals, débiles. Cada plano está formado por una yuxtaposición bidimensional de hexágonos, cuyos vértices están ocupados por átomos de carbono. El grafito es el más blando de los cristales y es conductor en la dirección de los planos de apilamiento.

## 5.3. Tipos de cristales

### *Cristales sólidos*

Aparte del vidrio y las sustancias amorfas, cuya estructura no aparece ordenada sino corrida, toda la materia sólida se encuentra en estado cristalino. En general, se presenta en forma de agregado de pequeños cristales (o policristalinos) como en el hielo, las rocas muy duras, los ladrillos, el hormigón, los plásticos, los metales muy proporcionales, los huesos, etc., o mal cristalizados como las fibras de madera corridas.

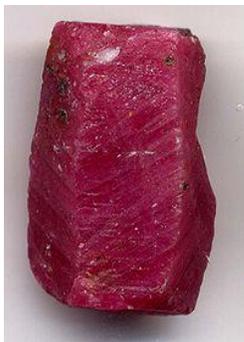
También pueden constituir cristales únicos de dimensiones minúsculas como el azúcar o la sal, las piedras preciosas y la mayoría de los minerales, de los cuales algunos se utilizan en tecnología moderna por sus sofisticadas aplicaciones, como el cuarzo de los osciladores o los semiconductores de los dispositivos electrónicos.

La Química Yariza M. Bruner M. (Panamá) dice que los sólidos cristalinos se clasifican en categorías dependientes del tipo de partículas que forman el cristal y los enlaces que interaccionan entre ellas.

### *Cristales líquidos*

Algunos líquidos anisótropos, denominados a veces "*cristales líquidos*", han de considerarse en realidad como *cuerpos mesomorfos*, es decir, estados de la materia intermedios entre el estado amorfo y el estado cristalino.

Los cristales líquidos se usan en pantallas (displays) de aparatos electrónicos. Su diseño más corriente consta de dos láminas de vidrio metalizado que emparedan una fina película de sustancia mesomorfa. La aplicación de una tensión eléctrica a la película provoca una intensa turbulencia que comporta una difusión local de la luz, con la cual la zona cargada se vuelve opaca. Al desaparecer la excitación, el cristal líquido recupera su transparencia.



Cristal de rubí antes de ser pulido

Las propiedades de los cristales, como su punto de fusión, densidad y dureza están determinadas por el tipo de fuerzas que mantienen unidas a las partículas. Se clasifican en: iónico, covalente, molecular o metálico.

### *Cristales iónicos*

Los cristales iónicos tienen dos características importantes: están formados de enlaces cargados y los aniones y cationes suelen ser de distinto tamaño. Son duros y a la vez quebradizos. La fuerza que los mantiene unidos es electrostática. Ejemplos: KCl, CsCl, ZnS y  $CF_2$ . La mayoría de los cristales iónicos tiene puntos de ebullición altos, lo cual refleja la gran fuerza de cohesión que mantiene juntos a los iones. Su estabilidad depende en parte de su energía reticular; cuanto mayor sea esta energía, más estable será el compuesto.

### *Cristales covalentes*

Los átomos de los cristales covalentes se mantienen unidos en una red tridimensional únicamente por enlaces covalentes. El grafito y el diamante, alótropos del carbono, son buenos ejemplos. Debido a sus enlaces covalentes fuertes en tres dimensiones, el diamante presenta una dureza particular y un elevado punto de fusión. El cuarzo ( $SiO_2$ ) es otro ejemplo de cristal covalente. La distribución de los átomos de silicio en el cuarzo es semejante a la del carbono en el diamante, pero en el cuarzo hay un átomo de oxígeno entre cada par de átomos de Si.

### *Cristales moleculares*

En un cristal molecular, los puntos reticulares están ocupados por moléculas que se mantienen unidas por fuerzas de van der Waals y/o de enlaces de hidrógeno. El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) sólido es un ejemplo de un cristal molecular al igual que los cristales de I<sub>2</sub>, P<sub>4</sub> y S<sub>8</sub>. Con excepción del hielo los cristales moleculares suelen empaquetarse tan juntos como su forma y tamaño lo permitan. Debido a que las fuerzas de van der Waals y los enlaces de hidrógeno son más débiles que los enlaces iónicos o covalentes, los cristales moleculares suelen ser quebradizos y su mayoría se funden a temperaturas menores de 100 °C.

### *Cristales metálicos*

La estructura de los cristales metálicos es más simple porque cada punto reticular del cristal está ocupado por un átomo del mismo metal. Los cristales metálicos por lo regular tienen una estructura cúbica centrada en el cuerpo o en las caras; también pueden ser hexagonales de empaquetamiento compacto, por lo que suelen ser muy densos. Sus propiedades varían de acuerdo a la especie y van desde blandos a duros y de puntos de fusión bajos a altos, pero todos en general son buenos conductores de calor y electricidad.

## **5.4. Sólidos Amorfos**

Como mencione anteriormente los sólidos, como estado, es algo muy amplio de que hablar, por ende, comenzaremos dividiéndolos en dos grupos, los cuales son, Los Sólidos Amorfos y Los Sólidos Cristalinos. Partiré Con los Amorfos:

### **Sólidos Amorfos:**

La Estructura Amorfa se presenta como un amontonamiento caótico de subestructuras idénticas. Mientras que la estructura cristalina se presenta en forma de repetición de subestructuras estrictamente periódicas, en las que domina el paralelismo; el cuarzo es el ejemplo más habitual. Por otra parte, en los cristales se distingue un orden a larga distancia, con una organización rigurosamente periódica de las subestructuras, en tanto que en las estructuras amorfas, las subestructuras siguen líneas quebradas al azar y el orden sólo se discierne a corta distancia. En la difracción también se refleja esta diferencia; la imagen que produce un haz de

Partículas -fotones, electrones, neutrones- que incide en un cristal amorfo conlleva un punto de impacto central, que corresponde a las partículas no desviadas, rodeado de anillos que corresponden a las distancias medias que son las más frecuentes entre los átomos. Pero, cuando el haz incide en un cristal, la perfecta periodicidad de las estructuras atómicas implica difracciones regulares de las partículas, que tienen lugar en direcciones privilegiadas y características de la estructura del cristal. La imagen se asemeja a una rejilla, en la que se distinguen unos puntos espaciados de forma regular que se llaman reflexiones de Bragg.

### **Descripción de las propiedades de los sólidos amorfos.**

Un sólido amorfo consiste en partículas acomodadas en forma irregular y por ello no tienen el orden que se encuentra en los cristales. Ejemplos de sólidos amorfos son el vidrio y muchos plásticos. Los sólidos amorfos difieren de los cristalinos por la manera en que se funden. Si controlamos la temperatura de un sólido cristalino cuando se funde, encontraremos que permanece constante. Los sólidos amorfos no tienen temperatura de fusión bien definida; se suavizan y funden en un rango de temperatura y no tienen "punto de fusión" característico. Los sólidos amorfos, al igual que los líquidos y gases, son isotrópicos, es decir sus propiedades son iguales en todas las direcciones. Esto se debe a la falta de regularidad en el ordenamiento de las partículas en los sólidos amorfos, lo cual determina que todas las direcciones sean equivalentes.

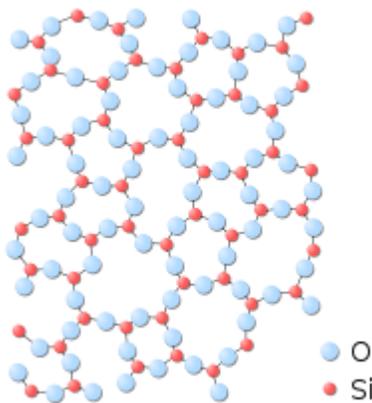
La característica más notoria de estos materiales es la ausencia de orden de largo alcance. Esto significa que, al contrario de lo que ocurre en un cristal, el conocimiento de las posiciones atómicas

de una región no nos permite predecir cuales serán las posiciones atómicas en otra región más o menos distante. A corto alcance sólo en el caso de los gases se puede realmente hablar de aleatoriedad, ya que tanto en los líquidos como en los gases se observan valores de densidad que sólo son compatibles con empaquetamientos más o menos compactos de átomos. Ahora bien, la obtención de estos empaquetamientos impone ciertas restricciones, esto es lo que nos permite hablar de orden de corto alcance. Este orden de corto alcance está siempre presente, sin embargo entre el sólido cristalino y el líquido hay bastantes diferencias, mientras que entre el líquido y el sólido amorfo encontramos bastantes semejanzas. Sin embargo el número de átomos que rodea a un átomo dado y la distancia interatómica media son similares en las fases sólida y líquida como corrobora la similitud encontrada en los valores de la densidad de cada fase.

#### 5.4.1. La estructura de un amorfo.

**Modelo microcristalino:** Los materiales amorfos están constituidos por un elevado número de agregados cristalinos, cada uno de ellos constituido por alrededor de 100 átomos. Estos agregados cristalinos están dispersos en el sólido y se enlazan entre sí mediante una “red” cuya naturaleza hay que especificar. La limitación en el número de átomos en el agregado proviene del hecho de que no se pueden conseguir agregados compactos de mayor tamaño con energía suficientemente pequeña como para estabilizar la estructura.

**Modelo poliédrico:** De nuevo estamos ante un empaquetamiento de átomos, enlazados según una configuración tetraédrica. Sólo para pequeños números de átomos consigue empaquetamientos perfectos con baja energía; para números elevados de átomos hay que



empezar a admitir un cierto grado de frustración. Tampoco es capaz de definir la naturaleza de la “red” en la que los agregados están dispersos. Los aglomerados resultantes en este modelo poseen ejes de rotación de orden de cinco, elemento de simetría prohibido en los cristales.

**Modelo de empaquetamiento denso al azar:** Este modelo fue propuesto inicialmente por Bernal para explicar la estructura de los líquidos. Su interés actual es fundamentalmente histórico. Se trata de ir ensamblando esferas de forma de forma que la configuración sea lo más compacta posible. En cada etapa vamos añadiendo una nueva esfera tan cerca como sea posible del centro del agregado correspondiente. Las cuatro primeras esferas constituirán un tetraedro regular porque este es el poliedro que permite un empaquetamiento más denso, sin embargo a medida que el número de esferas vaya aumentando, la configuración irá perdiendo capacidad puesto que no podemos rellenar completamente el espacio a base de tetraedros regulares. Para determinar la distribución de átomos en un material y por tanto acercarnos al tipo de orden que presento podemos hacer un análisis de rayos X. En las gráficas siguientes representamos la intensidad de la radiación dispersada en función del ángulo de difracción, para diferentes estructuras.

En un gas se mantiene prácticamente constante como corresponde a una distribución aleatoria de átomos. En el caso de líquidos y sólidos amorfos no podemos hablar de periodicidad pero se observa una fuerte modulación que efectivamente indica un cierto grado de corto alcance.

**Finalmente en el sólido cristalino las direcciones de dispersión están perfectamente bien definidas dando lugar a las líneas típicas de difracción.**

## 5.5. Los Sólidos

### **Propiedades de los Sólidos:**

Se caracteriza por la gran fuerza de cohesión entre sus moléculas, lo cual impide cualquier tipo de expansión. Calentados a gran temperatura, la cohesión se debilita y puede convertirse sucesivamente en líquido y gas.

**FORMA:** tienen forma propia y fija.

**VOLUMEN:** volumen propio y fijo.

**COMPRESIBILIDAD:** no pueden comprimirse.

**FUERZAS INTERMOLECULARES:** En un sólido las fuerzas intermoleculares que predominan son las de ATRACCIÓN.

Como ya mencionamos, un sólido es una sustancia formada por moléculas que se encuentran estrechamente unidas entre sí mediante una fuerza llamada fuerza de cohesión. La disposición de estas moléculas le da un aspecto de dureza y de rigidez con el que frecuentemente se le asocia. Los sólidos son duros y presentan dificultad para comprimirse. Esto se explica porque las moléculas que los forman están tan cerca, que no dejan espacios entre sí. Si miras a tu alrededor, notarás que todos los sólidos tienen una forma definida. Esta característica se mantiene, salvo que actúe sobre ellos una fuerza tan grande que los deforme. La forma definida de los sólidos es producto de la fuerza de cohesión que mantiene unidas a las moléculas.

### **¿A qué se debe que los sólidos sean diferentes?**

Estas diferencias pueden explicarse debido a que los cuerpos sólidos presentan propiedades específicas, en mayor o menor grado, entre las cuales señalaremos:



- **Elasticidad:** Un sólido recupera su forma original cuando es deformado. Un resorte es un objeto en que podemos observar esta propiedad.
- **Fragilidad:** Un sólido puede romperse en muchos pedazos (quebradizo).
- **Dureza:** Un sólido es duro cuando no puede ser rayado por otro más blando. El diamante es un sólido con dureza elevada.
- **Forma definida:** Tienen forma definida, son relativamente rígidos y no fluyen como lo hacen los gases y los líquidos, excepto a bajas presiones extremas.
- **Volumen definido:** Debido a que tienen una forma definida, su volumen también es constante.

- **Alta densidad:** Los sólidos tienen densidades relativamente altas debido a la cercanía de sus moléculas por eso se dice que son más “pesados”
- **Flotación:** Algunos sólidos cumplen con esta propiedad, solo si su densidad es menor a la del líquido en el cual se coloca.
- **Inercia:** es la dificultad o resistencia que opone un sistema físico o un sistema social a posibles cambios, en el caso de los sólidos pone resistencia a cambiar su estado de reposo.
- **Tenacidad:** En ciencia de los Materiales la tenacidad es la resistencia que opone un material a que se propaguen fisuras o grietas.
- **Maleabilidad:** Es la propiedad de la materia, que presentan los cuerpos a ser labrados por deformación. La maleabilidad permite la obtención de delgadas láminas de material sin que éste se rompa, teniendo en común que no existe ningún método para cuantificarlas.
- **Ductilidad** La ductilidad se refiere a la propiedad de los sólidos de poder obtener hilos de ellos.

## 5.6. Propiedades físicas de los minerales



Podemos clasificar los minerales por sus propiedades físicas, ópticas, eléctricas, magnéticas y por su composición química, aunque este último no es el método habitual, ya la mayoría pueden ser identificados mediante observación espectroscópica e incluso visual. Aún así, el análisis químico es la única forma de identificar con exactitud la naturaleza de un mineral.

Las propiedades físicas son de gran importancia en el estudio de los minerales. Muchas se pueden observar fácilmente, o recurrir a un espectroscopio.

### Dureza de un mineral

La dureza de un mineral es la resistencia que presenta a ser rayado. Un mineral posee una dureza mayor que otro, cuando el primero es capaz de rayar al segundo.

El mineralogista alemán Mohs estableció en 1822 una escala de medidas que lleva su nombre, y que se utiliza en la actualidad, en la que cada mineral puede ser rayado por los que le siguen. Se toman 10 minerales comparativos de más blando a más duro, que son: talco, yeso, calcita, fluorita, apatito, ortosa (feldespato), cuarzo, topacio, corindón y diamante.

### Tenacidad o cohesión

La tenacidad o cohesión es el mayor o menor grado de resistencia que ofrece un mineral a la rotura, deformación, aplastamiento, curvatura o pulverización. Se distinguen las siguientes clases de tenacidad:

- *Frágil:* es el mineral que se rompe o pulveriza con facilidad. Ejemplos: cuarzo y el azufre.
- *Maleable:* el que puede ser batido y extendido en láminas o planchas. Ejemplos: oro, plata, platino, cobre, estaño.
- *Dúctil:* el que puede ser reducido a hilos o alambres delgados. Ejemplos: oro, plata y cobre.
- *Flexible:* si se dobla fácilmente pero, una vez deja de recibir presión, no es capaz de recobrar su forma original. Ejemplos: yeso y talco.
- *Elástico:* el que puede ser doblado y, una vez deja de recibir presión, recupera su forma original. Ejemplo: la mica.

### Fractura de un mineral

Cuando un mineral se rompe lo puede hacer de diversas formas:

- *Exfoliación*: significa que el mineral se puede separar por superficies planas y paralelas a las caras reales. Ejemplos: mica, galena, fluorita y yeso.
- *Laminar o fibrosa*: cuando presenta una superficie irregular en forma de astillas o fibras. Ejemplo: la actinolita.
- *Concoidea*: la fractura presenta una superficie lisa y de suave curva, como la que muestra una concha por su parte interior. Ejemplos: sílex y obsidiana.
- *Ganchuda*: cuando se produce una superficie tosca e irregular, con bordes agudos y dentados. Ejemplos: magnetita y cobre nativo.
- *Lisa*: es la que presenta una superficie lisa y regular.
- *Terrosa*: es la que se fractura dejando una superficie con aspecto granuloso o pulverulento.

## 5.7. Electricidad y magnetismo

Muchos minerales conducen bien la electricidad (conductores), mientras que se oponen a su paso (aislantes). Unos pocos la conducen medianamente (semiconductores). Gracias a estos últimos se han desarrollado semiconductores que permiten al ser humano conseguir un alto nivel tecnológico. Pero hay más comportamientos de los minerales en relación con las fuerzas electromagnéticas:

- *Magnetismo*: consiste en atraer el hierro y sus derivados. Los imanes naturales son permanentes. La magnetita es un imán natural conocido desde tiempos muy remotos.
- *Piezoelectricidad*: es la capacidad para producir corrientes eléctricas cuando se les aplica presión. Si se aplica una fuerza a las caras de un cristal, genera cargas eléctricas y, si se aplican cargas eléctricas, entonces se produce una deformación de las caras del cristal. Ejemplo: el cuarzo.
- *Piroelectricidad*: se producen corrientes eléctricas en el extremo de las caras cuando el mineral se somete a un cambio de temperatura. Ejemplos: cuarzo y turmalina.
- *Radiactividad*: es la propiedad que poseen determinados minerales para emitir partículas de forma natural y espontánea. La radiactividad natural tiene muchas aplicaciones científicas, médicas e industriales, y los minerales que la poseen raramente alcanzan niveles peligrosos. Ejemplo: la uraninita.

## 5.8. Conducción eléctrica

La conducción eléctrica es el movimiento de partículas eléctricamente cargadas a través de un medio de transmisión (conductor eléctrico). El movimiento de las cargas constituye una corriente eléctrica. El transporte de las cargas puede ser a consecuencia de la existencia de un campo eléctrico, o debido a un gradiente de concentración en la densidad de carga, o sea, por difusión. Los parámetros físicos que gobiernan este transporte dependen del material en el que se produzca.

La conducción en metales y resistencias está bien descrita por la Ley de Ohm, que establece que la corriente es proporcional al campo eléctrico aplicado. Se calcula la conductividad  $\sigma$  para caracterizar la facilidad con la que aparece en un material una corriente de densidad (corriente por unidad de área)  $j$ , definida como:

$$j = \sigma E$$

o por su recíproco la resistividad  $\rho$ :

$$j = E / \rho$$

La conducción en dispositivos semiconductores puede darse debido a una combinación de campo eléctrico (deriva) y de difusión. La densidad de corriente es entonces

$$j = \sigma E + D \nabla n q$$

siendo  $q$  la carga eléctrica elemental y  $n$  la densidad de electrones. Los portadores se mueven en la dirección de decrecimiento de la concentración, de manera que para los electrones una corriente

positiva es resultado de una gradiente de densidad positivo. Si los portadores son "huecos", cámbiase la densidad de electrones  $n$  por el negativo de la densidad de huecos  $p$ . En los materiales linealmente anisótropos,  $\sigma$ ,  $\rho$  y  $D$  son tensores.

## 5.9. Sólidos (incluidos los sólidos aislantes)

En los sólidos cristalinos, los átomos interactúan con sus vecinos, y los niveles de energía de los átomos individuales forman bandas. El que un material conduzca o no, viene determinado por su estructura de bandas y por la ocupación de dichas bandas determinada por los niveles de Fermi. Los electrones, al ser fermiones, siguen el principio de exclusión de Pauli, por lo que dos electrones dentro de un mismo sistema de interacciones no pueden ocupar el mismo estado, lo cual significa que sus cuatro números cuánticos han de diferir. Así los electrones en un sólido rellenan bandas de energía hasta un cierto nivel, llamado la energía de Fermi. Las bandas que están completamente llenas de electrones no pueden conducir la electricidad, porque no hay estados cercanos de energía a los que los electrones puedan saltar. Los materiales con todas las bandas llenas (la energía de Fermi es entre dos bandas) son aislantes. Sin embargo, en algunos casos, la teoría de bandas falla y materiales que se predecían como conductores por la teoría de bandas se vuelven aislantes. Los aislantes de Mott y los aislantes de transferencia de carga son dos clases de ejemplos.

### 5.9.1. Metales

Los metales son buenos conductores de la electricidad y del calor porque tienen espacios sin rellenar en la banda de energía de valencia. (El nivel de Fermi marca una ocupación sólo parcial de la banda). En ausencia de campos eléctricos, la *conducción eléctrica* se produce en todas direcciones a velocidades muy elevadas. Incluso a la temperatura más fría posible - en el cero absoluto - la conducción eléctrica puede aún darse a las *velocidad de Fermi* (la velocidad de los electrones con energía de Fermi). Cuando se aplica un campo eléctrico, un ligero desequilibrio desarrolla un flujo de los electrones móviles. Los electrones de esta banda pueden verse acelerados por el *campo* porque hay multitud de estados cercanos sin rellenar en la banda.

La resistencia en los metales se da por la dispersión de electrones desde defectos en el entramado o por fonones. El modelo de Drude representa una teoría grosera clásica para metales sencillos, en el que la dispersión es caracterizada por un tiempo de relajación  $\tau$ . La conductividad viene entonces dada por la fórmula

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$

donde  $n$  es la densidad de conducción eléctrica,  $e$  es la carga del electrón, y  $m$  es la masa del electrón. Un modelo mejor es el de la llamada teoría semiclásica, en la cual el efecto de la potencial periodicidad del entramado sobre los electrones les dota de una masa efectiva (ref. teoría de bandas).

### 5.9.2. Semiconductores

El nivel de Fermi en un semiconductor está situado de manera que está o lleno o vacío. Un sólido que no tiene bandas parcialmente rellenas es un aislante, pero a temperaturas finitas, los electrones pueden ser excitados térmicamente desde la banda de valencia hasta la siguiente más elevada, la [[banda de conducción que está vacía. La fracción de electrones excitada de esta manera depende de la temperatura y del salto entre bandas, que es la diferencia de energía entre las dos bandas. Al excitar estos electrones en la banda de conducción se dejan atrás huecos cargados positivamente en la banda de valencia, que también pueden conducir la electricidad.

En los semiconductores, las impurezas afectan ampliamente a la concentración y al tipo de los portadores de cargas. Las impurezas donantes (de tipo n) tienen electrones de valencia extra con

energías muy cercanas a las de la banda de conducción que pueden ser fácilmente excitados térmicamente hacia la banda de conducción. Las impurezas aceptoras (de tipo p) capturan electrones desde la banda de valencia, facilitando la formación de huecos. Si un aislante es dopado con suficientes impurezas, puede darse una transición de Mott y que el aislante pase a ser conductor.

### 5.9.3. Superconductores

Los superconductores son conductores perfectos bajo una cierta temperatura crítica específica para cada material y bajo un campo magnético. En los metales y en algunos otros materiales, se da una transición a la superconductividad cuando se alcanzan bajas temperaturas (subcriogénicas). Mediante una interacción en la que participan algunas otras partes del sistema (en los metales, los fonones), los electrones se emparejan en pares de Cooper. Los pares de Cooper bosónicos forman un superfluido que tiene resistencia cero. Véase la teoría BCS.

### 5.9.4. Electrolitos

Las corrientes eléctricas en los electrolitos son flujos de iones eléctricamente cargados. Por ejemplo, si se somete una disolución de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  a un campo eléctrico, los iones de sodio se moverán de forma constante hacia el electrodo negativo (Cátodo), mientras que los iones de cloro se moverán hacia el electrodo positivo (Ánodo). Si las condiciones son las correctas, se producirán reacciones redox en la superficie de los electrodos, liberando electrones el cloro y posibilitando que se absorban electrones en el sodio.

El hielo de agua y ciertos electrolitos sólidos llamados conductores de protones contienen iones positivos de hidrógeno que son de movimiento libre. En estos materiales, las corrientes eléctricas están compuestas por protones en movimiento (contrariamente a los electrones móviles que encontramos en los metales).

En ciertas mezclas electrolíticas, poblaciones de iones brillantemente coloreados forman las cargas eléctricas en movimiento. La lenta migración de esos iones a lo largo de una corriente eléctrica es un ejemplo de situación donde una corriente es directamente visible a los ojos humanos.

### 5.9.5. Gases y plasmas

En el aire y en otros gases corrientes por debajo del dominio de rotura, la fuente dominante de conducción eléctrica es a través de un relativamente reducido número de iones móviles producidos por gases radioactivos, luz ultravioleta, o rayos cósmicos. Dado que la conductividad eléctrica es extremadamente baja, los gases son dieléctricos o aislantes. Sin embargo, cuando el campo eléctrico aplicado se aproxima al valor de rotura, los electrones libres alcanzan una aceleración suficiente por parte del campo eléctrico como para crear electrones libres adicionales mediante la colisión, y la ionización de los átomos o las moléculas neutras del gas en un proceso llamado rotura en avalancha. El proceso de rotura forma un plasma que contiene un número significativo de electrones móviles y de iones positivos, por lo que se comporta como un conductor eléctrico. En el proceso, se forma una senda conductiva que emite luz, como una chispa, un arco o un rayo.

Un plasma es un estado de la materia donde algunos de los electrones de un gas han sido separados o "ionizados" de sus moléculas o átomos. Un plasma puede formarse por altas temperaturas, o por la aplicación de un campo eléctrico o magnético intenso. Debido a su masas inferior, los electrones en un plasma aceleran más la respuesta a un campo eléctrico que los iones positivos de mayor peso, por lo que cargan con el grueso de la corriente.

### 5.9.6. Vacío

Dado que un vacío perfecto no contiene partículas cargadas, los vacíos normalmente se comportan como aislantes perfectos (serían los mayores aislantes conocidos). Pese a ello, las superficies de los electrodos de metal pueden causar que una región de vacío se convierta en conductora por la inyección de electrones libres o de iones a través tanto de emisiones de campo como de emisiones termiónicas. Las emisiones termiónicas ocurren cuando la energía térmica excede a la función trabajo, mientras que las emisiones tienen lugar cuando el campo eléctrico en la superficie del metal es lo suficientemente elevado como para causar un efecto túnel, el cual desemboca en el lanzamiento de electrones libres desde el metal al vacío. Se suelen emplear electrodos calentados externamente para generar una nube de electrones como en el filamento o en el cátodo calentado indirectamente de las válvulas termiónicas. Los electrodos fríos pueden también producir nubes de electrones espontáneamente a base de emisiones termiónicas cuando se forman pequeñas regiones incandescentes (llamadas puntos catódicos o puntos anódicos). Estas son regiones incandescentes de la superficie del electrodo que son creadas por flujos de corriente localizadamente elevados. Pueden haberse iniciado por emisiones de campo, pero entonces son mantenidas por emisiones termiónicas localizadas una vez que se ha formado el arco de vacío. Estas zonas de emisión de electrones se pueden formar muy rápidamente, incluso de forma explosiva, en superficies de metal sujetas a campos eléctricos elevados. Las válvulas termiónicas y los sprytrones son algunos de los interruptores electrónicos y de los dispositivos de amplificación basados en la conductividad en el vacío.

### 5.9.7. Conductividad en medios sólidos

Según la teoría de bandas de energía en sólidos cristalinos (véase *semiconductor*), son materiales conductores aquellos en los que las bandas de valencia y conducción se superponen, formándose una *nube* de electrones libres causante de la corriente al someter al material a un campo eléctrico. Estos medios conductores se denominan conductores eléctricos.

La Comisión Electrotécnica Internacional definió como patrón de la conductividad eléctrica:

*Un hilo de cobre de 1 metro de longitud y un gramo de masa, que da una resistencia de 0,15388 Ω a 20 °C al que asignó una conductividad eléctrica de 100% IACS (International Annealed Copper Standard, Estándar Internacional de Cobre no Aleado). A toda aleación de cobre con una conductividad mayor que 100% IACS se le denomina de alta conductividad (H.C. por sus siglas inglesas).*

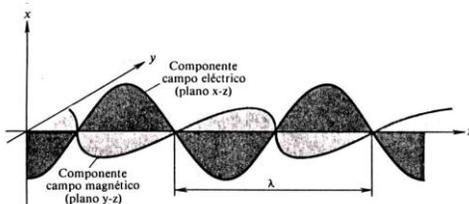
#### Algunas conductividades eléctricas

	Conductividad Eléctrica (S·m <sup>-1</sup> )	Temperatura( °C)	Apuntes
<u>Plata</u>	63.01 × 10 <sup>6</sup>	20	La conductividad eléctrica más alta de cualquier metal
<u>Cobre</u>	59.6 × 10 <sup>6</sup>	20	
<u>Templado Cobre</u>	58.0 × 10 <sup>6</sup>	20	Se refiere a 100 %IACS (Standard Internacional de Templado de Cobre, de sus siglas en inglés: International Annealed Copper Standard).
<u>Oro</u>	45.5 × 10 <sup>6</sup>	20-25	
<u>Aluminio</u>	37.8 × 10 <sup>6</sup>	20	
<u>Agua de mar</u>	5	23	Ver <a href="http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_7/2_7_9.html">http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_7/2_7_9.html</a> para más detalles sobre las distintas clases del agua marina.

			5(S·m <sup>-1</sup> ) para una salinidad promedio de 35 g/kg alrededor de 23(°C) Los derechos de autor del material enlazado se pueden consultar en <a href="http://www.kayelaby.npl.co.uk/copyright/">http://www.kayelaby.npl.co.uk/copyright/</a>
<u>Agua potable</u>	0.0005 a 0.05		Este rango de valores es típico del agua potable de alta calidad mas no es un indicador de la calidad del agua.
<u>Agua desionizada</u>	$5.5 \times 10^{-6}$		$1.2 \times 10^{-4}$ en agua sin gas; ver J. Phys. Chem. B 2005, 109, 1231-1238

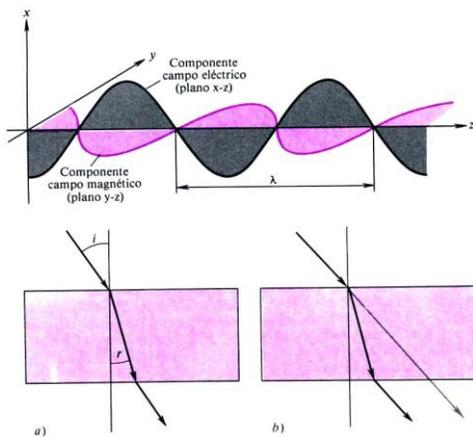
## 5.10. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS CRISTALES

Las propiedades ópticas de los cristales están en la correspondencia con las leyes de la óptica geométrica. Están vinculadas con la variación de la velocidad de la luz, que atraviesa los cristales transparentes, y se describe a base de las nociones de la naturaleza electromagnética de la luz. De acuerdo con esas nociones, la luz se caracteriza por la longitud de onda y la amplitud de las oscilaciones armónicas de las componentes eléctrica y magnética del campo electromagnético en las direcciones perpendiculares entre sí y al rayo luminoso (Fig. 4.3). En la Figura 4.3. Luz corriente, las oscilaciones suceden perpendicularmente al rayo luminoso en todas las direcciones radiales, mientras que en la luz planamente polarizada éstas se efectúan sólo en un plano de polarización. La simetría de las propiedades ópticas de los cristales a través de los cuales la luz monocromática pasa a la misma velocidad sin tener en cuenta su dirección de vibración, se denominan cristales isótropos.



Todos los cristales del sistema cúbico se comportan como isótropos. En estos cristales la dirección de vibración de un rayo de luz, es siempre perpendicular a la dirección de la luz (Fig. 4.4).

Figura 4.4.



Los cristales que pertenecen a los sistemas de media y de baja simetría son anisótropas respecto a la luz; a través de ellos, un rayo de luz puede pasar con velocidades considerablemente distintas para las diferentes direcciones de vibración dentro del cristal (ver Fig. 4.4). El ángulo que forman las direcciones de vibración y la dirección del rayo puede ser diferente de  $90^\circ$ .

Respecto a las propiedades ópticas todos los cristales se dividen en tres grupos:

- a) Ópticamente isótropos (sistema cúbico);
- b) Ópticamente anisótropos uniaxiales (sistemas: trigonal, tetragonal, hexagonal);
- c) Ópticamente anisótropos biaxiales (sistemas: rómbico, monoclinico, triclinico).

En los cristales del sistema cúbico, un rayo de luz propaga en todas las direcciones con la misma velocidad, es decir, ellos se caracterizan por un índice de refracción. Los cristales anisótropos, originan dos ondas luminosas polarizadas en dos planos mutuamente perpendiculares. A cada onda la caracteriza una superficie especial de propagación; una esfera o elipsoide para los cristales uniaxiales, y superficies de orden superior, para los biaxiales.

Las superficies de ambas ondas pueden tocarse en dos puntos (cristales uniaxiales), o cortarse en cuatro puntos (cristales biaxiales). Estos puntos determinan los ejes ópticos, es decir, las direcciones en que sin birrefringencia, se propaga la luz en el cristal. En esta dirección que coincide con el eje de simetría principal de los cristales los valores de los índices de refracción son iguales.

Normalmente a los ejes ópticos están las secciones circulares de los elipsoides. La superficie construida con los índices de refracción según las direcciones de las oscilaciones, se denominan indicatriz óptica. Tiene la forma de elipsoide de revolución (cristales uniaxiales - Fig.4.6) o de elipsoide triaxial (de tres ejes desiguales) para los cristales biaxiales (Fig. 4.5). En los

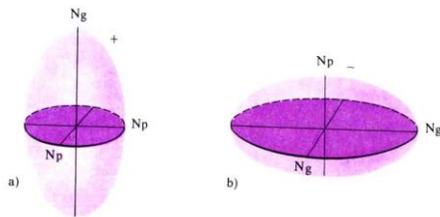


Figura 4.5.

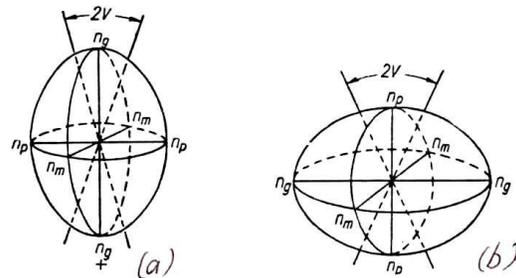


Figura 4.6.

cristales uniaxiales una onda que se propaga, por el eje óptico, se llama ordinaria y se caracteriza por un índice de refracción constante ( $n_o$ ). Otra onda que se llama extraordinaria tiene el diferente índice de refracción ( $n_e$ ) en las diferentes direcciones. En los cristales de simetría baja dos ondas son extraordinarias y sus índices de refracción son diferentes por las diferentes direcciones. Los cristales se denominan ópticamente positivos, si el eje óptico en los uniaxiales o la bisectriz aguda del ángulo de los ejes ópticos, en los biaxiales, coincide con la dirección de oscilaciones de las ondas de menor índice de refracción, los cristales se denominan ópticamente negativos.

Los fenómenos de interferencia de las dos ondas polarizadas observadas con el microscopio polarizante en luz paralela convergente, permiten determinar las constantes ópticas más importantes y el sistema de simetría del cristal.

El microscopio polarizante es uno de los más importantes aparatos utilizados en el estudio de las propiedades ópticas de los cristales. En el microscopio para la transformación de la luz ordinaria a la luz polarizante se usan los prismas de Nicol o los productos artificiales (polaroides). Para los prismas de Nicol (nicoles) se utiliza la calcita incolora completamente transparente (el espató de Islandia) Fracturado según el plano de Exfoliación, el paralelepípedo de forma alargada se talla según la pequeña diagonal; se tallan y pulen las caras extremas de modo que forman un ángulo de  $68^\circ$  con las laterales, se pegan de nuevo las dos partes según la superficie del tallado con bálsamo del Canadá. Al penetrar en el prisma (Fig. 4.6) la onda corriente se descompone en dos ondas planopolarizadas, ordinaria ( $o$ ) y extraordinaria ( $e$ ). La primera onda, que tiene en la calcita un índice constante de refracción  $n_o = 1.658$ , al llegar a la

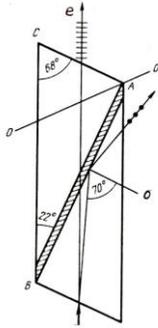


Figura 4.7.

capa de bálsamo del Canadá, que tiene un índice de refracción  $n = 1.54$ , sufrirá una reflexión interna completa y absorberá el engaste pintado de negro del prisma. La onda extraordinaria tiene un índice variable de refracción. En dirección paralela a las aristas grandes del prisma es de 1.516. Al pasar de la calcita a la capa de bálsamo del Canadá y otra vez a la calcita, la onda extraordinaria casi no se refracta, ya que las de onda extraordinaria casi no se refracta, ya que las magnitudes 1.516 y 1.54 son casi iguales. Por lo tanto, del nicol sale solamente la onda extraordinaria plano polarizado. En el microscopio hay dos nicoles: el polarizador (en el cual entra la luz) y analizador, que permite analizar la onda que pasa por el polarizador. Si el polarizador y el analizador son paralelos, la luminosidad es máxima; si están cruzadas, la luminosidad es mínima, es decir, hay absorción completa. Los cristales del sistema cúbico son oscuros entre los nicoles cruzados. Los cristales anisótropos (de los sistemas medios o bajos) tienen el color de interferencia en la misma posición de los nicoles.

Los métodos ópticos de la investigación de los minerales y rocas permiten determinar las características exactas de sus propiedades cristaloópticas. Estas características (constantes) importantes son:

1. Forma y tamaño de los granos,
2. Exfoliación y ángulo entre las grietas de la Exfoliación,
3. Color y pleocroísmo,
4. Índice de refracción,
5. Isotropía y anisotropía,
6. Birrefringencia y colores de interferencia,
7. Extinción.

Los constantes ópticas investigan en las secciones delgadas (preparación esmerilada de 0.02 a 0.03 mm de espesor) de las rocas que son pegadas por el bálsamo de Canadá entre dos láminas de vidrio. Las constantes ópticas determinan con la ayuda de los diferentes métodos, por ejemplo: para la determinación de los índices de refracción se usan tres métodos principales: MÉTODO DE BECKE (línea de BECKE); MÉTODO DEL REFRACTOMETRO (de reflexión total interna); MÉTODO DE INMERSIÓN.

## Anexo

### CRISTALES EN EL AULA Y EN CASA

#### A. Crecimiento de cristales a partir de disoluciones

##### 1. Sal común (cloruro sódico, NaCl) en agua

Comenzaremos con la sal común porque todo el mundo la tiene a mano. Mientras el experimento con la sal común está en marcha se pueden ir recopilando los productos para los restantes experimentos.

##### a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Introduzca tres cucharaditas de sal en una taza con un tercio de su contenido lleno de agua. Agite bien. La mayor parte de la sal se disolverá, formando una disolución de sal en agua, pero una pequeña parte quedará sin disolver en el fondo del recipiente y es posible que la disolución aparezca turbia (algunos productores de sal de mesa envuelven los granos de sal en una sustancia insoluble e inócua con el objeto de que los granos no se peguen unos a otros cuando el tiempo es húmedo; se usa el siguiente procedimiento para separar esta sustancia, así como la sal no disuelta, si es que queda alguna, de la disolución). Deje la mezcla en reposo toda la noche. A la mañana siguiente la disolución aparecerá transparente, con un depósito sólido en el fondo. Vierta la disolución en un vaso bajo, o en una taza, teniendo cuidado de no acarrear nada del depósito del fondo (este procedimiento para separar un líquido de un sólido, simplemente vertiendo el líquido, se denomina **decantación**).

Desprecie el material sólido. Deje reposar la disolución sin tapar durante unos días. Para protegerla del polvo se puede colocar una caja grande volteada sobre ella.

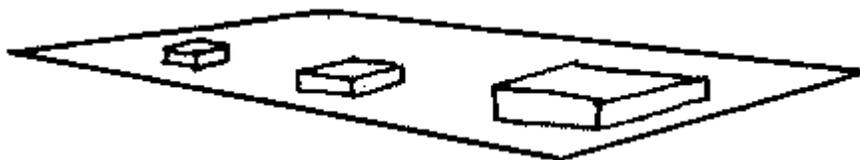
Las partículas que se van formando de manera gradual a partir de la disolución son cristales de sal. Si puede verlos desde las primeras etapas de su formación observará que parecen cuadrados. Si los observa desde un lateral verá que también parecen cuadrados, o tal vez rectangulares. Con gran precisión, sus lados forman ángulos rectos unos con otros y mantienen esta geometría mientras crecen.

¡Piense un poco sobre esto! A partir de una disolución surgen estas formas sólidas perfectamente modeladas, independientemente de que esté usted evaporando la disolución en España, en Siberia, en África, en América o en Australia, en un submarino o en un avión. Puede estar completamente seguro: el sólido que surge de la disolución salina forma pequeños cristalitos con brillantes caras pulidas que forman ángulos rectos unas con otras. ¿Cómo supone usted que ocurre esto?

Utilice unas pinzas, si dispone de unas, para coger uno de los cristalitos y sacarlo del recipiente. Séquelo a continuación y guárdelo en una caja aparte. No modificará su forma, a menos que el tiempo sea *muy* húmedo. En condiciones de extrema humedad, el agua del aire puede introducirse en el cristal y disolverlo. Los cristales que quedan en el recipiente, sin embargo, continúan creciendo porque a medida que el agua se evapora, la sal que usted disolvió inicialmente abandona la disolución y se va añadiendo a los cristalitos del fondo, haciéndolos cada vez mayores. Las capas se añaden unas sobre otras, igual que las capas de pintura en una caja, de manera que cada cara plana progresa hacia fuera, manteniendo ángulos exactamente rectos con sus vecinas.

## b. Qué hacer con los cristales

1. Se puede construir un instructivo muestrario extrayendo de la disolución (mediante las pinzas) cristales en varias etapas de su crecimiento y fijándolos sobre una cartulina o un papel (mejor negro o de color oscuro) con una gota de pegamento o cola. La secuencia, de menor a mayor tamaño, mostrará cómo los cristales mantienen la misma forma a medida que crecen.



Trate de evitar la elección de piezas formadas por más de un cristal, dado que entonces la observación de las formas y la comparación de los tamaños es más difícil.



Dos cristales

2. Rómpalos. Golpee suavemente un cristal con un martillo pequeño, con el mango de un cuchillo o de un destornillador, o con el cuenco de una cuchara. Se romperá a lo largo de superficies planas paralelas a las caras planas que forman la superficie externa.



Éste se puede romper en... éstos



Éstos se pueden romper en trozos todavía más pequeños, aún con superficies planas (que brillan con fuerza bajo una luz intensa) paralelas a las originales. Se pueden romper las veces que uno quiera: las caras seguirán estando paralelas unas a otras.

Esta tendencia de un cristal a romperse en trozos a lo largo de superficies planas de una determinada orientación se conoce con el nombre de **exfoliabilidad**. No todos los cristales tienen esta propiedad. Algunos sencillamente se quiebran como un trozo de vidrio.

3. Guarde en una caja pequeña, o en un frasco o en un sobre, algunos de los mejores cristales que haya obtenido, de forma que los pueda usar en posteriores experimentos 4. Coloque un cristal sobre un portaobjetos de vidrio, o sobre alguna otra superficie limpia, y deposite una gota grande de agua sobre él. Obsérvelo con una lupa mientras se disuelve en el agua. Los vértices se redondean rápidamente debido a que poseen tres caras expuestas al disolvente. Las aristas se redondean algo menos rápidamente porque sólo tienen dos caras expuestas. Si se recupera el cristal antes de que se haya disuelto completamente, se seca con un pañuelo limpio, de tela o de papel, y se coloca de nuevo en la disolución salina saturada, ¡comenzará a crecer de nuevo, rellenando los vértices y las aristas y recuperando su forma original!

5. Puede usar cualquiera de sus cristales como cristal semilla con objeto de obtener cristales más grandes a partir de la disolución saturada de la misma sustancia, pero obtendrá mejores resultados si utiliza cristales de pequeño tamaño.

6. Utilice sus cristales como producto de partida para comenzar desde el principio. Ahora son sal pura, sin ningún recubrimiento insoluble.

### c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

Una lección importante que se ha de aprender en esta sección es que un cristal de sal común crece añadiendo sal sobre sí mismo a partir de la disolución acuosa de sal que lo rodea, y lo hace con caras pulidas y planas que forman ángulos rectos unas con otras, supuesto que su crecimiento no se vea obstaculizado. El hecho de que estos cristales sean exfoliables indica que, **en el interior del cristal**, una determinada dirección no es como cualquier otra. La clase y la disposición de los átomos, iones o moléculas en un cristal determinan su forma y sus otras propiedades.

Para separar un líquido de un sólido se ha utilizado el método de decantación. Para hacer crecer monocristales grandes se ha utilizado el método de siembra mediante cristales semilla.

El hecho de que no puedan crecer cristales de gran tamaño a partir de núcleos espacialmente próximos se ha observado en el crecimiento de la costra blanca en el borde de la disolución, una costra que se expandía a medida que la disolución circulaba a su través por capilaridad.

Se ha observado la forma en que se produce la disolución de un sólido de forma cúbica.

## B. Cristales a partir del fundido (líquido de la misma sustancia que los cristales)

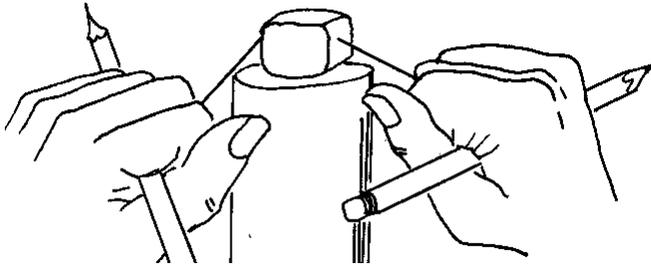
### 1. Hielo (agua sólida, H<sub>2</sub>O)

El hielo es una de las pocas sustancias que cambia de nombre cuando funde. El agua es una sustancia tan común que es útil tener distintos nombres para cada una de las diferentes formas en que se presenta: hielo, nieve, escarcha, rocío, lluvia, vapor de agua, niebla, nube...

El hielo también es una de las pocas sustancias que se encoge cuando funde. Una determinada masa de agua ocupa más volumen como hielo que como agua líquida, una vez que ha fundido. Otra forma de decir lo mismo es ésta: un volumen dado de hielo pesa menos que el mismo volumen de agua líquida. Esto es así porque el hielo es menos denso que el agua líquida. Por esta razón el hielo flota en el agua. Si el agua congela en un recipiente que no la deja expandirse libremente, el recipiente se rompe.

Como el agua líquida ocupa menos volumen que el hielo, se puede transformar hielo en agua haciendo presión sobre aquél. Ésta es una de las razones por las cuales el hielo es tan resbaladizo y se puede patinar sobre él. La presión produce una fina capa de agua entre el patinador y el hielo, la cual actúa como lubricante.

Se puede demostrar el cambio de hielo a agua por aplicación de una presión, y su vuelta a hielo por eliminación de la misma presión, mediante el siguiente experimento. Coloque un cubito de hielo sobre un vaso dado la vuelta. Sujete ambos extremos de un alambre pequeño a sendos lápices. Pase el alambre por la parte superior del cubito de hielo y empuje hacia abajo ambos extremos del mismo, tal como se muestra en el diagrama.



El alambre irá atravesando el hielo de arriba a abajo. El hielo se funde por debajo del alambre, donde está bajo presión, y se recongela por encima del alambre, donde la presión ha cesado.

#### **a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento**

Una forma de hacer crecer cristales de hielo es colocar una cubitera con un poco de agua en el congelador de una nevera tradicional, o bien al aire libre si la temperatura está claramente por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ . En unas dos horas (si la temperatura es de  $-10^{\circ}\text{C}$ ) buena parte del agua se habrá transformado en hielo. Algunos de los cristales tendrán una forma delgada y alargada, aunque es posible que hayan cristalizado junto a otros. Extráigalos de la cubitera y examínelos. Una buena forma de localizar la frontera entre cristales vecinos es observarlos entre polarizadores cruzados (véase el punto b, más abajo).

Otra forma de hacer crecer cristales de hielo consiste en colocar una gota de agua sobre el portaobjetos de un microscopio, o sobre cualquier otra superficie plana, como el fondo de un vaso dado la vuelta, e introducirla en el congelador.

#### **b. Qué hacer con los cristales**

Examínelos entre polarizadores cruzados, utilizando el montaje sugerido en el subapartado III-D para sujetar los polarizadores.

Si dispone de la pequeña gota de agua congelada sobre el portaobjetos, puede colocar el vidrio de forma horizontal, entre los polarizadores, iluminándolo desde abajo, y observar los cambios de color que tienen lugar a medida que el cristal funde y se hace más delgado.

Haga girar el portaobjetos en su propio plano, como las manecillas del reloj, entre los polarizadores. Fíjese que los cristales aparecen oscuros en unas posiciones e iluminados en otras. Una zona que tenga el mismo comportamiento a lo largo de toda la rotación pertenece a un único cristal. Entre ella y otra zona que se comporte de manera diferente se encuentra la frontera entre los cristales. Puede que exista una zona que permanezca oscura en todas las posiciones de la rotación. Esta zona tiene su eje óptico alineado exactamente en la dirección en que usted está mirando. Si inclina el portaobjetos ligeramente, esta zona se iluminará.

Si dispone de una placa de hielo de dos o tres milímetros de espesor en la cubitera, tiene la oportunidad de ver algo realmente especial entre los polarizadores cruzados. Con objeto de que éstos no se humedezcan, colóquelos de forma vertical.

Localicé una zona amplia de la placa de hielo que permanezca oscura cuando se gire la placa en su propio plano entre los polarizadores cruzados. Manténgala pegada al polarizador frontal y acérquese a mirar tan cerca del polarizador como le sea posible. Observará una cruz negra sobre

un fondo gris y, si la placa de hielo es lo bastante gruesa, también verá un anillo amarillo alrededor de la cruz y un anillo rojo rodeando al anterior. Este fenómeno se conoce en Óptica por el nombre de **figura de interferencia** (véase la referencia 3, Apartado V).

### c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

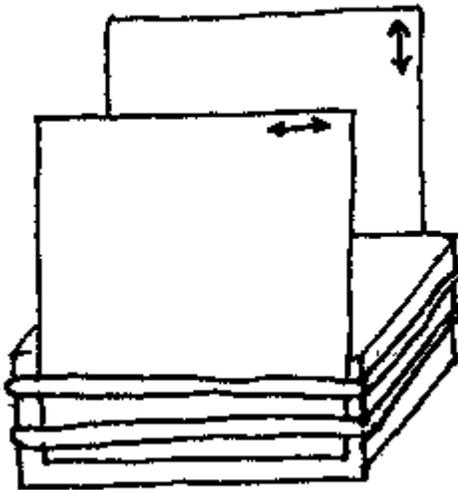
Se pueden obtener cristales de hielo a partir de hielo fundido (es decir, de agua líquida).

Las fronteras entre los cristales que forman una placa de hielo se pueden detectar utilizando polarizadores cruzados.

Como el agua líquida es más densa que el hielo, éste se puede transformar en agua mediante la aplicación de presión. Si la temperatura es inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ , ésta volverá a transformarse en hielo cuando cese la presión. (Fíjese que el hielo, como cualquier otra sustancia sólida, puede estar más frío que su temperatura de fusión. Mucha gente parece tener la extraña idea de que el hielo siempre está a la temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ . Cuando se está formando hielo a partir de agua líquida y *todavía hay agua presente*, entonces su temperatura sí es de  $0^{\circ}\text{C}$ ).

## D. Experimentos con luz polarizada

Una forma conveniente de preparar dos polarizadores para examinar cristales consiste en colocarlos uno a cada lado de una caja pequeña sujetándolos a ella con una cinta de goma.



Las flechas dobles de la figura indican la dirección de oscilación permitida para la luz que atraviesa cada polarizador. Cuando los polarizadores están colocados de forma que una de esas direcciones forma un ángulo recto con la otra se dice que están «cruzados». Si los polarizadores fueran perfectos no podría pasar nada de luz a su través cuando están cruzados. Sin saber cuál es la dirección permitida de cada uno se pueden colocar en posición cruzada fácilmente sin más que colocar uno tras otro y detectar la orientación para la cual se ve más oscuro.

Una discusión completa acerca de cristales bajo luz polarizada no es adecuada para este manual. Se recomienda al lector acudir a la lista de referencias del Apartado V.

A continuación, se recogen observaciones específicas referidas a los cristales que se mencionan en este manual.

Los cristales estudiados aquí se pueden dividir en dos grupos sobre la base de su apariencia entre polarizadores cruzados.

**Cristales que aparecen oscuros en cualquier posición**      **Cristales que aparecen iluminados en la mayoría de las orientaciones**

sal común

bórax

alumbre

azúcar

sulfato de cobre

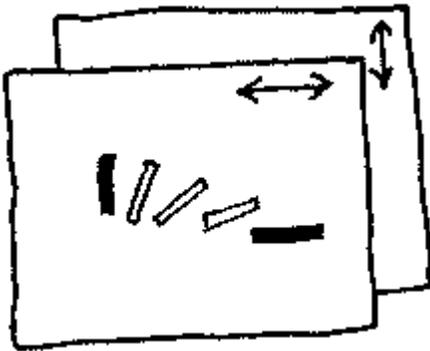
epsomita

hielo

salol

naftaleno

Se encontrará que los cristales que aparecen iluminados en la mayoría de las orientaciones se observan oscuros en algunas. Las agujas de epsomita, por ejemplo, aparecen oscuras cuando sus aristas largas se encuentran paralelas a la dirección permitida de uno cualquiera de los polarizadores.



Todo cristal que aparezca iluminado entre polarizadores cruzados se observará coloreado si es lo bastante estrecho. Cuando la luz pasa a través de un cristal de este tipo se divide en dos haces que oscilan perpendicularmente uno respecto del otro. Uno de ellos se desplaza a mayor velocidad que el otro. Cuando ambos rayos abandonan el cristal y atraviesan el segundo polarizador, interfieren entre sí de forma similar a como hacen los rayos descritos en la sección sobre cristales de bismuto. Aunque el origen de la interferencia es distinto en este caso, los colores que se producen también se llaman colores de interferencia.

Los polarizadores son especialmente útiles para determinar si una porción de materia consiste en un único cristal o en más de uno. Una porción de hielo a medio fundir puede que no muestre separaciones a la luz normal, pero entre polarizadores cruzados es posible que se encuentre que una parte se aprecia oscura en una posición mientras que otra parte se observa oscura en una posición distinta. Claramente, en este caso, esa porción de hielo estará formada por dos cristales.

## **DIRECCIONES ELECTRONICAS DE WEBQUEST**

[http://weib.caib.es/Recursos/enlace\\_quimico\\_webquest/index.htm](http://weib.caib.es/Recursos/enlace_quimico_webquest/index.htm)

[http://www.quimicaweb.net/mujeres\\_fyq/index.htm](http://www.quimicaweb.net/mujeres_fyq/index.htm)

<http://fisica-quimica.blogspot.com/2006/05/webquest-bachillerato.html>

## BIBLIOGRAFIA

- Hernández Cano, Félix (1941-2005<sup>+</sup>) CSI Cristallogra. Departamento de Cristalografía. Madrid, España., <http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/>
- Textos y videoclips de estudio, Biblioteca Virtual, Aula2punto.net <http://www.ucm.es/info/investig/teaching/pptcrista.htm>
- Galarce Pardo, Felipe., "Datos importantes de Química" <http://quimicamentehablando.blogspot.com/2009/10/datos-basicos-pero-importantes.html>
- Química De Los Sólidos
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Conducci%C3%B3n\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Conducci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica). *wikipedia.org/wiki/Conducción eléctrica* -
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Conductividad\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Conductividad_el%C3%A9ctrica) Conductividad **eléctrica** - Wikipedia, la enciclopedia libre
- Niño, José Eduardo, Conceptos de cristalografía, (Txt)., <http://www.angelfire.com/la/SEMICONDUCTORES/concept.html>
- Departamento de Cristalografía, CSIC, (doc)., 2009. <http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/>
- Howard Mike y Darcy., Introducción a la Cristalografía y Sistemas Cristalinos. Universidad de Sonora, México.
- Wood, Elizabeth A. "Cristales –un manual para profesores de enseñanza primaria y secundaria". 2001., <http://www.iucr.org/education/pamphlets/20/full-text-spanish>