

**Ciencias Naturales**

**Química**

**Programa de Estudio  
Cuarto Año Medio**

**Formación Diferenciada  
Humanístico-Científica**



**GOBIERNO DE CHILE**  
MINISTERIO DE EDUCACION



## Presentación

EL PRESENTE PROGRAMA concluye la formación escolar de química, profundiza algunos de sus contenidos, los integra y los relaciona con contenidos de otras disciplinas, en particular, con la física, la bioquímica y con otras disciplinas en el ámbito de la salud.

En la primera unidad de este programa alumnos y alumnas se abocarán al estudio de las relaciones de la química con la física del estado sólido, en especial en lo que concierne a los rasgos estructurales de los diversos sólidos, del nexo entre su estructura y sus propiedades y de las características de ciertos materiales con notables propiedades mecánicas y eléctricas.

La relación de la química con la física se presenta con especial énfasis en el estudio del estado sólido y, de hecho, es impensable una sin la otra. La química sintetiza y purifica los materiales que la física requiere y por ello en países tecnológicamente avanzados la formación de un físico pasa necesariamente por el estudio y la experimentación química, para lograr así el aprendizaje de sus técnicas de síntesis y de la purificación de sustancias. Ese profesional deberá trabajar con materiales concretos y, por lo tanto, tendrá que estar informado acerca de las técnicas usadas en su purificación, de sus potencialidades, capacidades y límites.

Se concluye esta temática del estado sólido con el estudio de la nanotecnología en superficies sólidas, que si bien es un campo que se presta para extensas especulaciones es también, en el decir de muchos científicos, la impronta que distinguirá al desarrollo tecnológico del siglo XXI respecto de la tecnología del siglo precedente. Así es como la producción en masa de bienes de consumo del siglo XX se

piensa que derivará en el presente siglo en una producción de mucho menor volumen, pero altamente especializada, que deberá apuntar también a un mayor cuidado de los recursos naturales y del medio ambiente. Ello se extiende en múltiples direcciones y hoy ya se aventuran importantes aplicaciones en ámbitos muy diversos: informática, medicina, bioquímica, etc. Así por ejemplo, en el campo de las aplicaciones médicas se espera que la nanotecnología permita algún día fabricar pequeñísimas “máquinas inteligentes” que inyectadas en el torrente sanguíneo puedan detectar virus o células cancerosas, a través de receptores apropiados que funcionen a nivel molecular, para luego ir las destruyendo selectivamente sin dañar a otras células. ¡Qué ilusión más extraordinaria parece ello a la luz del actual estado de avance de la medicina! ¿Cómo no pensar en los cientos de miles de personas que mueren anualmente de sida, de otras graves enfermedades virales o de muy diversos tipos de cáncer? ¡Qué gran cambio implicaría para ellos reemplazar el uso de los llamados “cóckteles de drogas” por una terapia basada en la nanotecnología!

La segunda unidad de este programa establece vínculos entre la química y los procesos biológicos, en particular, con las llamadas ciencias de la salud. Alumnas y alumnos podrán plantearse múltiples preguntas cuyas respuestas, a este nivel, se responden o al menos se insinúan en el contexto de la química. ¿Cómo actúa una droga en el organismo? ¿De qué modo altera una droga adictiva como la marihuana o la cocaína el funcionamiento de las neuronas? ¿Por qué resulta tan difícil romper el círculo vicioso que induce el consumo repetido de una

droga? ¿Por qué un medicamento tiene un efecto específico bien determinado? ¿Es todo lo natural inocuo, o por el contrario, el que un producto sea de origen natural no garantiza en absoluto que su acción sea buena o inofensiva? ¿Cómo se explica el efecto de una toxina o veneno? ¿Por qué no se debe esperar que la sobredosis de un medicamento pueda producir una mejoría más rápida o eficaz de una dolencia? ¿Por qué debemos evitar la automedicación? ¿Qué relación existe entre la dosis terapéutica y la dosis tóxica de diversas drogas? ¿Da lo mismo utilizar un medicamento de un laboratorio o de otro? ¿Qué es la biodisponibilidad de una droga? ¿Por qué es importante el conocimiento del genoma humano en el diseño de drogas con una determinada acción terapéutica? A lo largo de este programa se intentará entusiasmar a alumnos y alumnas para que, guiados por el docente, indaguen y busquen modo de responder fundamentadamente a estas preguntas.

El presente programa es relativamente extenso en relación a los otros programas de química. Ello se debe a que ha parecido conveniente entregar al docente un material que sea una guía más efectiva para su labor, ya que estas materias no han sido anteriormente tratadas a nivel escolar y es probable que transcurra un lapso de tiempo considerable antes que los docentes y los estudiantes cuenten con un texto escolar que les permita profundizar estas materias. De hecho, es probable que la edición de dicho texto no esté dentro de los planes a mediano plazo de las diversas editoriales. Todo ello dependerá, evidentemente, del número de estudiantes que se interesen por este curso diferenciado.

Para una mejor organización de este programa cada unidad ha sido dividida en dos partes y las orientaciones didácticas que se presentan a su inicio son aplicables a toda ella.

## Objetivos Fundamentales Transversales y su presencia en el programa

EL PROGRAMA DE FORMACIÓN DIFERENCIADA de Química de Cuarto Año Medio refuerza algunos OFT que tuvieron presencia y oportunidad de desarrollo en la Educación Media y adiciona otros propios de las nuevas unidades, particularmente el OFT del ámbito *crecimiento y autoafirmación personal* referido a la formación y desarrollo del interés y capacidad de conocer la realidad y utilizar el conocimiento y la información.

**En la Unidad 1** se aborda la relación de la química con la física del estado sólido y se profundizan aspectos científicos y culturales de nuestra época que se conectan con conocimientos que son relevantes para los OFT de *persona y entorno*, el cuidado del medio ambiente (celdas solares y superconductividad), y el OFT de informática (microchips y nanotecnología, principalmente). El trabajo de laboratorio que involucra muchas de las actividades propende también a ejercitar y reforzar el autocuidado y a aplicar normas básicas de prevención de riesgos.

**La Unidad 2**, Relaciones de la química con procesos biológicos y ciencias de la salud, se vincula con el OFT de respeto y valoración de la vida, el cuerpo humano y la salud. Esta unidad desarrolla aspectos valóricos de importancia fundamental para la sana convivencia y el cuidado personal referidos al uso y abuso de drogas de adicción, la síntesis y utilización de sustancias neurotóxicas, entre otras. Otros temas de importancia son los de automedicación y la entrega de una formación ética e información sin sesgos para que cada estudiante irradie su conocimiento hacia la sociedad entera, que en último término es uno de los agentes que ha hecho posible su educación.

En este programa se da oportunidad de desarrollo a todos los OFT del ámbito *desarrollo del pensamiento*. En este marco, tienen especial énfasis las habilidades de investigación y el desarrollo de formas de observación, razonamiento y de proceder características del método científico, así como las de exposición y comunicación de resultados de actividades experimentales o de indagación. Asimismo, el programa da pie para comprender el carácter desigual y zigzagueante del conocimiento científico y para entender la ciencia como un logro de muchos siglos de trabajo y como resultado del aporte de miles de personas. Adicionalmente, en las diversas actividades experimentales que el programa plantea, se destaca en especial la formación de hábitos de rigurosidad en el trabajo de observación y medición, y de flexibilidad y creatividad en la formulación de preguntas e hipótesis.

En el plano de la *formación ética* se espera que alumnas y alumnos analicen temas relacionados con la responsabilidad de la ciencia en los descubrimientos que son utilizados con fines de destrucción y comprendan que la verdadera ciencia no está sujeta a nacionalidad, ideología política o creencia religiosa, y que desde sus inicios sólo está interesada en acercarse a la verdad. La naturaleza de los usos y aplicaciones tecnológicas de la ciencia no hablan de su mayor o menor valor, sino sólo de la calidad humana de quienes financian, impulsan y utilizan esas tecnologías.

También está presente en este programa el OFT del ámbito *persona y su entorno* referido a la protección del entorno natural y sus recursos como contexto de desarrollo humano y a la com-

prensión de la relación histórica que ha existido entre el ser humano y el mundo natural.

En todas las actividades del programa se pretende que los estudiantes aprendan a trabajar en grupo y que interaccionen socialmente con su entorno y comprendan que el conocimiento científico no puede ser mezquino y está abierto a todo el que se inquiete por aprender: la ciencia es el resultado del aporte que han hecho muchos científicos de todas épocas y lugares geográficos y es el que provee el conocimiento para los adelantos tecnológicos que deberán mejorar la vida del ser humano.

Finalmente, el programa se hace cargo de los OFT de informática incorporando en diversas actividades y tareas la búsqueda de información a través de redes de comunicación, el empleo de software de diverso tipo para el procesamiento de datos y el uso inteligente de internet, lo que implica aprender a buscar y seleccionar la información realmente valiosa.

En las actividades de este programa se utiliza la siguiente simbología:

 Señala que hay una observación relacionada con el cuidado y preservación del medio ambiente y, en general, con el tratamiento de residuos y su eliminación responsable.

 Es un signo de precaución y de prevención de riesgos. Indica un especial cuidado y atención sobre posibles riesgos y la necesidad de omitir experimentos u observar ciertas medidas de seguridad para su realización.



## Objetivos Fundamentales

Los alumnos y alumnas desarrollarán la capacidad de:

- Distinguir estructuralmente entre los diversos tipos de sólidos.
- Relacionar la estructura de los sólidos con sus propiedades conductoras, semiconductoras y aisladoras.
- Comprender las aplicaciones principales de los sólidos en términos de sus propiedades.
- Valorar la importancia de las aplicaciones de los materiales cerámicos, particularmente de los superconductores.
- Reconocer las diferentes fuentes de compuestos químicos de importancia para la salud.
- Conocer las diferencias entre drogas con acción terapéutica, medicamentos y los llamados productos naturales.
- Conocer a través de ejemplos específicos los efectos terapéuticos de drogas y medicamentos y productos naturales.
- Integrar los conceptos adquiridos a través de ejemplos específicos de drogas sintetizadas en la naturaleza, semisintéticas y sintéticas.

## Unidades, contenidos y distribución temporal

### Cuadro sinóptico

Unidades			
1		2	
Relación de la química con la física: el estado sólido.		Relación de la química con procesos biológicos y ciencias de la salud.	
Parte 1	Parte 2	Parte 1	Parte 2
Contenidos			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Generalidades acerca de sólidos. Sólidos amorfos y cristalinos. Sólidos metálicos, iónicos y moleculares. Concepto de celda unidad.</li> <li>Relación entre la estructura de sólidos y sus propiedades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conductores, semiconductores y aisladores.</li> <li>Sólidos no estequiométricos y dopaje. Aplicaciones: El silicio y los chips, celdas solares, y fotocatalisis.</li> <li>Materiales cerámicos, cemento y vidrio. Descripción de las fases en sólidos y equilibrios. Aplicaciones mecánicas y eléctricas: superconductores.</li> <li>Nanotecnología en superficies sólidas. Intercambio de átomos de superficie, depósito de moléculas en superficies, catálisis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición del concepto de agente químico natural y distinción entre éste, droga con actividad terapéutica, droga de abuso, toxinas y venenos. Definición de droga semisintética y sintética.</li> <li>Conceptos de droga, medicamento y producto natural. Distinción entre estos conceptos. Proteínas como blanco de las drogas. Mecanismos generales de acción de drogas. Concepto de agonista y antagonista, de inhibidor y de bloqueador. Conceptos básicos de la relación estructura-actividad y dosis-efecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de adicción a drogas. Nociones básicas de los mecanismos moleculares de adicción. La adicción como enfermedad. Ejemplo: la morfina, su uso terapéutico y su potencial adictivo.</li> <li>El conocimiento del genoma humano y su impacto en el desarrollo de nuevas drogas con actividad terapéutica.</li> </ul>
Tiempo estimado			
13 semanas	6 semanas	13 semanas	6 semanas

## Unidad 1

### **Parte 1: Relación de la química con la física: el estado sólido**

#### **Contenidos**

- Sólidos cristalinos y amorfos; vidrios. Obtención, características estructurales y propiedades.
- Silicatos y su importancia para el ser humano.
- Relación entre la estructura y las propiedades de sólidos.
- Sólidos iónicos, moleculares, covalentes. Propiedades generales.
- Celda unidad, como entidad ideal para la construcción de un cristal.

### Aprendizajes esperados

Los alumnos y alumnas:

- Distinguen entre sólidos cristalinos y amorfos.
- Comprenden el concepto de celda unidad y cómo por su repetición espacial se puede generar formalmente el cristal (ideal).
- Reconocen los diferentes empaquetamientos de los metales (estructuras cúbica centrada en el cuerpo, cúbica compacta y hexagonal compacta).
- Identifican sólidos metálicos, iónicos y moleculares.
- Asocian a algunas estructuras cristalinas propiedades características.

### Orientaciones didácticas

Esta unidad permitirá a los estudiantes interiorizarse con las características del estado sólido, aprendiendo a distinguir por sus propiedades entre sólidos cristalinos y amorfos. Estos aprendizajes deberán apoyarse necesariamente en la experimentación que involucra preparar dichos sólidos y experimentar con ellos.

El estudio de los diferentes tipos de sólidos cristalinos: iónicos, moleculares, macromoleculares y metálicos, proveerá a los alumnos y alumnas de un marco conceptual apropiado para comprender contenidos de diversas áreas: química inorgánica, ciencia de materiales, física experimental del estado sólido, mineralogía y geología.

Las relaciones entre la estructura de los sólidos y sus propiedades, particularmente de su conductividad y resistencia mecánica, dará a los estudiantes un referente nuevo para la comprensión de lo que genéricamente se conoce como un sólido. Ello no es de menor importancia cuando se piensa en los semiconductores y superconductores que, a través de invenciones tecnológicas en las áreas de la informática, comunicaciones y transporte, están cambiando con rapidez la vida del ser humano.

Por otro lado, la catálisis y la nanotecnología son dos temas de enorme interés; el primero podrá ser desarrollado por el docente mostrando ejemplos de importantes procesos industriales en los que se utiliza. En contraste, en torno a la nanotecnología se cifran muchos proyectos e ideas, pero es un tema que está en pleno desarrollo y el docente deberá ser cuidadoso para que los estudiantes no exageren las expectativas que se cifran en esta área.

Los aprendizajes adquiridos por alumnas y alumnos en esta unidad deberán estar orientados a que se aproximen mejor a una comprensión del mundo tecnológico en que les ha tocado vivir y en el cual se suceden cambios cada vez más acelerados. Estos jóvenes utilizan, con mucho mayor destreza e intensidad que la mayoría de los adultos, los computadores, los aparatos de video y demás adelantos tecnológicos, y están también mejor interiorizados acerca de las posibilidades de internet. De este modo cuando en el futuro hablen de “microchips”, superconductores cerámicos, semiconductores a base de silicio, convertidores catalíticos o celdas solares lo estarán haciendo con mayor propiedad, porque estas palabras habrán cobrado para ellos nuevos significados.

La experimentación es un pilar fundamental en la estructura de este programa, particularmente en esta primera unidad. Por ello se sugiere al docente que estimule a los estudiantes para que constantemente experimenten, reflexionen, pregunten e indaguen. Sólo a través de estos ejercicios y de dibujar en sus cuadernos los dispositivos experimentales o de hacer un esbozo de los modelos con que están trabajando dará mayor fuerza a sus actividades, para que el hacer esté siempre acompañado del pensar. La realización de cualquiera de los procedimientos experimentales de síntesis que se describen más adelante tiene sentido y es más provechosa si el docente y los estudiantes preguntan el porqué de cada detalle, para que jamás aparezca sólo como una secuencia de operaciones que hay que seguir ciegamente.

Particular cuidado se prestará a la información que los estudiantes obtengan de internet, que es muy amplia y no pocas veces falta de objetividad y rigor. Es importante, por eso mismo, que aprendan a evaluar la calidad de la información basándose en algunas preguntas simples: ¿quién da la información?, ¿es un medio de expresión de una institución seria y fiable?, ¿en qué otras fuentes se le cita?, ¿qué hay detrás de la información entregada: un servicio informativo, o simplemente propaganda comercial o la venta de un producto?, ¿parece la información bien elaborada y fundamentada o más bien confusa?

No debemos olvidar que ésta será para muchos estudiantes la última etapa de educación formal y por ello es importante no sólo que integren diversos campos del conocimiento, los apliquen y los hagan más activos, sino que también avancen en el desarrollo de su capacidad crítica para aprender a filtrar la información y evaluar su calidad.

## Actividad 1

---

**Caracterizan sólidos cristalinos y amorfos y los diferencian por sus propiedades estructurales y características macroscópicas.**

Ejemplo

Alumnas y alumnos debaten acerca de los conceptos de sólido cristalino y amorfo e intentan clasificar como cristalino o amorfo al hielo, el vidrio, el azufre y el poliestireno.

Procedimiento

El docente provee muestras de vidrio, poliestireno, cuarzo, azufre y de otros materiales cristalinos o amorfos.

**Distinción común entre sólidos cristalinos y amorfos**

Observan los sólidos con ayuda de una lupa potente o con un microscopio.

Dibujan los sólidos y los colorean para reproducir sus colores naturales.

Manipulan los sólidos y rompen algunos de ellos en pedazos más pequeños. Examinan visualmente los fragmentos. (*Ver indicaciones al docente*).

Los estudiantes indagan acerca de:

- Los conceptos de sólido cristalino y amorfo.
- La característica de algunos de los sólidos anteriores, cristalino o amorfo, en base a la apariencia de las superficies de ruptura.
- Una posible relación entre la forma exterior de un sólido de origen natural y su naturaleza cristalina o amorfa.

Alumnas y alumnos debaten en torno a:

- Si el vidrio común es un sólido cristalino o amorfo.
- La existencia de cristales naturales de vidrio común.
- Acaso el hielo es un sólido cristalino o amorfo. Discuten los argumentos que tienen a favor o en contra de sus afirmaciones. Describen lo que han visto en fotografías o dibujos de cristales de nieve.

### **Relación entre los tipos de sólidos, cristalino o amorfo, y su estructura interna**

Los estudiantes indagan acerca de:

- La relación entre el tipo de sólido, cristalino o amorfo, y su estructura interna.
- Diferencias externas entre los cristales de hielo en la nieve y un sólido como el poliestireno o el vidrio de una ventana.

Alumnos y alumnas construyen modelos sencillos que les permita simular los ordenamientos en ambos tipos de sólidos. (*Ver indicaciones al docente*).

Toman esferas pequeñas, por ejemplo bolitas de cristal, y las disponen ordenada y desordenadamente en dos dimensiones.

Los estudiantes discuten en torno a:

- Posibles diferencias en los bordes de ordenamientos hecho en dos dimensiones y que simulan las estructuras de un sólido amorfo y de uno cristalino.
- Relación de las formas externas de los sólidos con su ordenamiento interno.

### **Curvas de enfriamiento de sólidos**

El docente expresa que el principal rasgo que permite diferenciar un sólido cristalino de uno amorfo es la forma de la curva de enfriamiento de la masa fundida.

Los estudiantes experimentan:

- Realizan el calentamiento cuidadoso de un sólido cristalino, por ejemplo hielo, y uno amorfo, como un acrílico, y hacen observaciones acerca de su diferente comportamiento.
- Observan qué sucede con un trozo de vidrio de soda, cuando el docente lo calienta a la llama del mechero. Comparan con lo que ocurre con un trozo de hielo que es calentado sobre un recipiente metálico.

Los estudiantes debaten acerca de:

- Posibles diferencias observables cuando se calienta un sólido cristalino y uno amorfo.
- Lo que es de prever cuando el proceso se invierte y se deja enfriar una masa fundida.
- Importancia de la cristalinidad de un material para sus aplicaciones tecnológicas: diferencia entre el trabajo de soplado de vidrio y del cuarzo. (Si es posible, averiguan previamente con un técnico o buscan información en internet).

Se presenta a los estudiantes los dos tipos de curva de enfriamiento, en un gráfico en el que sólo aparecen rotulados los ejes.

Alumnos y alumnas hacen predicciones acerca de cuál curva corresponde a cada tipo de sólido e intentan justificar su predicción.

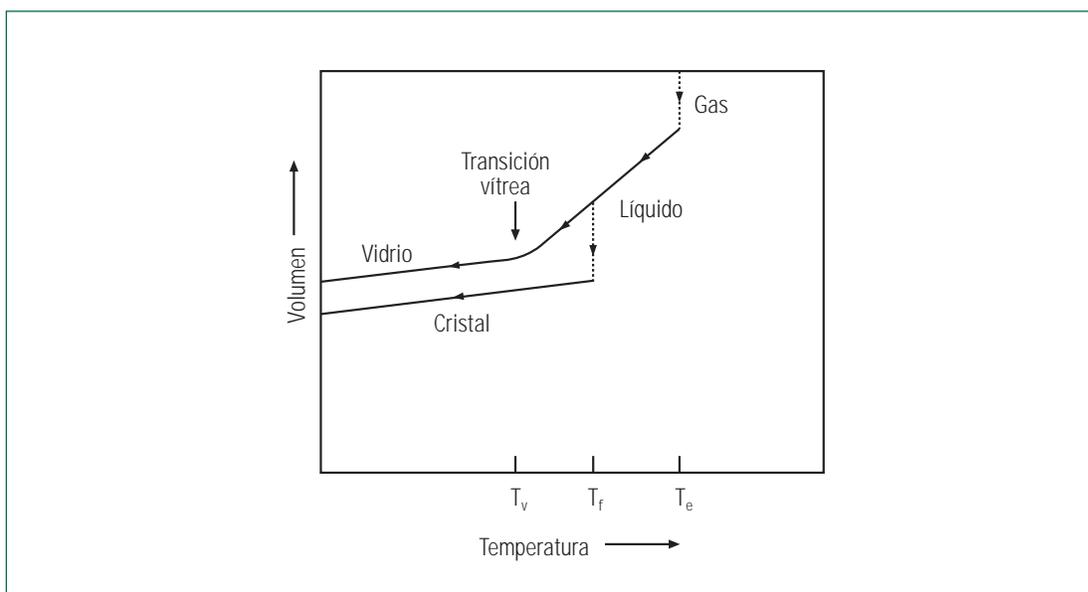
Finalmente, el docente explica a qué corresponde cada curva de enfriamiento y los estudiantes intentan hallar las diferencias más significativas en la forma de cada curva.

Contrastan la asignación correcta de las curvas y su explicación con sus predicciones y las razones que tuvieron para hacerlas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

A continuación se exponen con algún detalle los aspectos más importantes de esta actividad.

#### ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE ENFRIAMIENTO



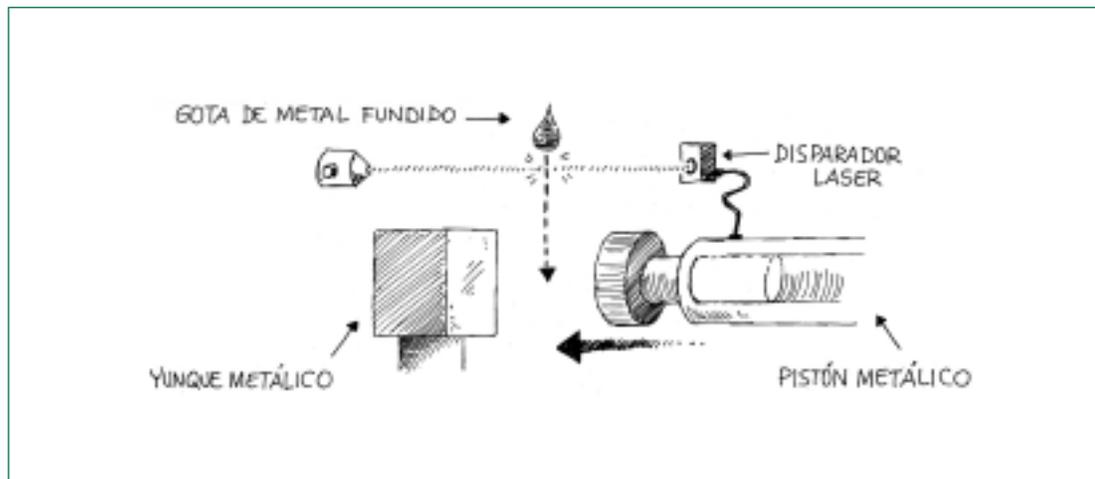
Es importante que el docente señale que, macroscópicamente, una de los pocos rasgos que permite diferenciar claramente un sólido cristalino de uno amorfo es su comportamiento a partir del enfriamiento de la masa fundida. Cuando lo que se forma es un sólido cristalino, al enfriar el líquido se alcanza la temperatura de fusión,  $T_f$ , donde se produce un cambio abrupto de volumen con formación de cristales (cristalización). Por otro lado, cuando la masa fundida se enfría y se forma un sólido amorfo no hay un cambio abrupto de volumen, sino que ocurre un cambio gradual de volumen en la transición del líquido al vidrio amorfo. Ello se produce a la llamada temperatura de transición vítrea,  $T_v$ .

Es importante que alumnas y alumnos aprendan a determinar del gráfico  $T$  vs.  $V$  el valor del cambio de volumen para la fusión o solidificación de una sustancia cristalina y que tengan presente que sólo muy raramente se produce un aumento de volumen en la solidificación. (Éste es el caso del agua y el docente podrá incitar al debate acerca de qué aspecto tendrá aquí el gráfico  $T$  vs.  $V$ ).

La temperatura de transición vítrea, a diferencia de la temperatura de fusión, no está definida en forma exacta y por lo general se desplaza hacia valores inferiores cuando se reduce la velocidad de enfriamiento.

#### OBTENCIÓN DE SÓLIDOS AMORFOS

Es importante que el docente señale que casi todos los sólidos cristalinos pueden obtenerse como sólidos amorfos, bastando para ello que la masa fundida sea enfriada de manera muy rápida. Así por ejemplo, se puede obtener un metal amorfo cuando, mediante una técnica apropiada, la temperatura de una gota de metal fundido desciende en  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un lapso de tiempo de  $0,001\text{ s}$ . Ello se logra con un dispositivo como el de la figura. Cuando la gota fundida pasa frente al rayo de luz interrumpe su paso, lo que dispara el mecanismo que mueve el pistón rápidamente hacia la izquierda y aplasta la gota contra una gran superficie fría, produciendo el brusco enfriamiento y solidificación del metal.



Adaptado de: The New Encyclopaedia Britannica, Macropaedia, 15ª Ed. 1995, Londres, Vol.23 Pág. 638.

#### USO DE MODELOS PARA DISTINGUIR ENTRE LA ESTRUCTURA DE SÓLIDOS CRISTALINOS Y AMORFOS

Un modelo sencillo que puede permitir una mejor comprensión, a nivel microscópico, sobre las diferencias estructurales entre sólidos cristalinos y amorfos consiste en disponer fichas circulares (monedas, discos de madera, etc), o esferas (bolitas de vidrio, rodamientos, etc), ubicándolas ordenada y desordenadamente e intentando simular, en dos dimensiones, ambos tipos de estructuras. Es importante señalar que una estructura amorfa sólo exhibe orden en zonas pequeñas. Es así que en un sólido amorfo se observa que se mantiene el número de unidades, iones por ejemplo, que se ubican alrededor de otra unidad, esto es el llamado número de coordinación. Pero en estos sólidos falta, sin embargo, una estructura que se repita en forma ordenada a mayor distancia. En otros

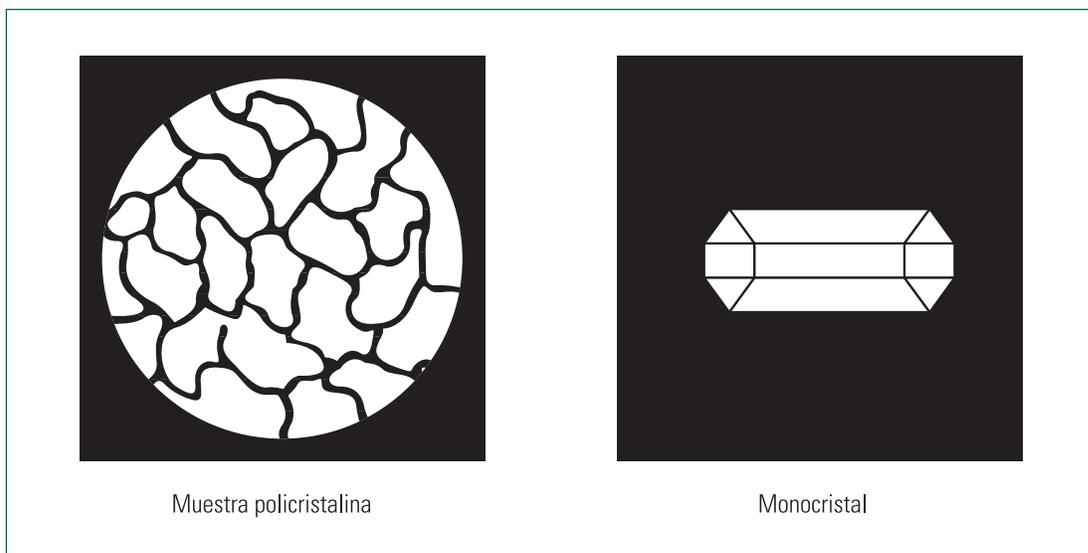
términos, la estructura es ordenada en un microdominio pero desordenada o sólo parcialmente ordenada en un macrodominio.

Es importante llamar la atención de los estudiantes sobre el hecho que una estructura cristalina u ordenada tiene un menor volumen de huecos (o espacios vacíos) que una estructura amorfa, de modo que al producirse la cristalización hay un cambio abrupto de volumen. En el caso del sólido amorfo, en cambio, no existe una diferencia de volumen tan importante entre la masa fundida y el sólido. En el sólido amorfo sólo ocurre una acomodación relativa de las unidades estructurales, que se aproximan más entre sí al bajar la temperatura, tal como se contrae cualquier sólido, líquido o gas. Por eso se dice a veces que un vidrio es un líquido sobreenfriado.

#### **DISTINCIÓN ENTRE MONOCRISTALES Y SÓLIDOS POLICRISTALINOS**

Es importante que el profesor o profesora ayude a los estudiantes a aprender a distinguir entre cristales grandes o monocristales y materiales policristalinos. Éstos están constituidos por una multitud de microcristales y se encuentran frecuentemente en muestras minerales de mármol, cuarzo y otros materiales.

En un sólido policristalino los pequeños cristales que lo forman se ubican con muy diversa orientación y poseen distinto tamaño, pero cada uno de esos cristales individualmente considerados consiste de una estructura ordenada. En la figura se observa, a la izquierda, una muestra policristalina observada al microscopio: cada grano es un pequeño cristal. A la derecha aparece la imagen de un cristal único o monocristal.



La observación de diversos sólidos al microscopio, guiada por el docente, ayudará a los estudiantes a aprender a distinguir entre muestras policristalinas y monocristales y a apreciar que existen formas geométricas regulares que se repiten en cada uno de los cristales de una sustancia policristalina y que ello se debe a una estructura interna ordenada, en la que el ordenamiento espacial se repite en las pequeñas partículas; esto a diferencia de los sólidos amorfos en los que sólo se observan trozos de formas irregulares y diferentes entre sí.

**MEDIDAS DE SEGURIDAD**

⚠ Es importante que durante el desarrollo de la experiencia los estudiantes y el docente protejan los ojos por medio de gafas apropiadas, ya que al golpear los cristales pueden ser proyectados trozos de material a gran velocidad.

**Actividad 2****Obtienen sólidos cristalinos y amorfos.**

## Ejemplo

Obtienen paracetamol cristalino y yodato de cobre amorfo e investigan sobre sus características físicas y microscópicas.

## Procedimiento

Obtienen un sólido amorfo, yodato de cobre, por precipitación y cristales de paracetamol, a partir de un medicamento que lo contiene.

Analizan los parámetros que deben ser considerados para realizar una cristalización.

## Preparación del yodato de cobre

1. Calculan las masas molares del yodato de potasio,  $\text{KIO}_3$  (214,0 g/mol) y del sulfato de cobre,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , (249,7 g/mol).
2. Preparan 100 mL de soluciones 0,1 M de  $\text{KIO}_3$  y de  $\text{CuSO}_4$ .
3. Disponen la solución de sulfato de cobre en un vaso de precipitados de 500 mL y vierten sobre ella rápidamente la solución de yodato de potasio.
4. Describen en su cuaderno lo que observan y qué piensan que se puede haber formado.
5. El precipitado amarillo-anaranjado, que consiste de yodato de cobre(II),  $\text{Cu}(\text{IO}_3)_2$ , es separado vertiendo primeramente el líquido sobrenadante y luego es lavado con 50 mL de etanol. Colocan el precipitado sobre dos hojas de papel filtro o toalla de papel y lo dejan secar al aire.
6. Observan los sólidos obtenidos mediante un microscopio o una lupa de gran aumento y registran lo observado mediante un dibujo.

**Obtención del paracetamol** *(Ver indicaciones al docente)*

1. Alumnos y alumnas muelen tabletas de un medicamento que contiene como droga activa paracetamol, vierten 20 mL de agua tibia en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y vacían 2 g de la sustancia molida. Agitan y calientan manteniendo a ebullición suave. Agregan agua hasta completar el volumen que debiese disolver todo el paracetamol, considerando para ello su solubilidad y la masa de droga activa contenida en 2 g de la tableta.
2. Filtran inmediatamente, con precaución, a través de un papel filtro doblado en pliegues y reciben el líquido, que debe ser claro, en un vaso de 50 mL.
3. Dejan enfriar el líquido filtrado y apuran el proceso de enfriamiento colocando el vaso en un baño de agua fría.
4. Dejan reposar el filtrado sin perturbarlo. Lo observan de vez en cuando.
5. Describen en su cuaderno lo que observan y qué piensan que se puede haber formado.
6. Se retira la mayor cantidad de líquido sobrenadante por decantación y los cristales se dejan secar al aire.
7. Hacen un esbozo de cada una de las etapas del procedimiento experimental utilizado para obtener los cristales.
8. Observan los cristales obtenidos mediante un microscopio o una lupa de gran aumento y registran lo observado mediante un dibujo.

Los estudiantes discuten:

- ¿Por qué se filtró la solución en caliente y luego se dejó enfriar?
- ¿Cómo varía la solubilidad del paracetamol con la temperatura?

Los estudiantes indagan:

- ¿Cuál es la estructura de la molécula de paracetamol?
- ¿Qué grupos funcionales se distinguen en la molécula de paracetamol?
- ¿Cómo influye, en general, la temperatura sobre la solubilidad? Para ello se informan acerca de sustancias cuya solubilidad varía apreciablemente con la temperatura, en contraposición con otras en que ésta apenas afecta la solubilidad.
- Utilizando la información sobre la solubilidad del paracetamol, calculan la masa de paracetamol que quedó en el sobrenadante.

Finalmente, los estudiantes escriben un texto breve en el que discuten la importancia de la solubilidad para la obtención de cristales.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que los estudiantes tengan la oportunidad de apreciar la regularidad geométrica en la forma de los cristales de paracetamol, comparada con la desuniformidad de las partículas en el precipitado amorfo de yodato de cobre.

En el caso del secado al aire de los cristales y del precipitado amorfo, se puede utilizar un secador de pelo para acelerar el proceso, teniendo cuidado de no secar excesiva o enérgicamente, ya que el sólido puede ser arrastrado por la corriente de aire.

#### ESTRUCTURA Y TOXICIDAD DEL PARACETAMOL

**!** El nombre común del paracetamol o acetaminofen es 4-acetilaminofenol, droga utilizada en la formulación de analgésicos, y que en sobredosis resulta ser hepatotóxica. En efecto, una sobredosis de paracetamol produce daños irreversibles en el hígado y riñones. Sobre mil páginas web describen la intoxicación con paracetamol, sus síntomas y el antídoto, que debe ser administrado en el hospital a más tardar pocas horas después de su ingestión.

Medicamentos cuya droga activa es paracetamol se conocen con alrededor de medio centenar de nombres, entre ellos: Valadol®, Datriil®, Tempra®, Febrilix®, Panofen® y Panadol®.

#### SOLUBILIDAD

Es posible que cuando se disuelva el medicamento quede algún sólido, dependiendo de la forma farmacéutica de aquél, que puede contener componentes inertes.

Al discutir los conceptos de solubilidad y su dependencia con la temperatura, es conveniente recordar a los estudiantes que hay procesos que ocurren en la naturaleza que se explican en base a estos conceptos. Por ejemplo, la formación de depósitos de minerales en los salares, los que se producen a las orillas de los geisers, de las pozas de aguas termales calientes, en la obtención de sal a partir del agua de mar, etc.

Pueden simular algunos de estos procesos utilizando una solución concentrada de cloruro de sodio (por ejemplo sal gruesa) que la dejan evaporar al sol o la evaporan con ayuda de un ventilador, secador de pelo o, simplemente, colocándola en un lugar cubierto expuesto al viento. Para ello también se puede usar una arpillera que se sostiene sobre la solución y se sumerge parcialmente. El líquido asciende por capilaridad y al evaporarse el solvente se forman pequeños cristales que quedan atrapados en la trama de la tela.

**DATOS DE SOLUBILIDAD DEL PARACETAMOL**

Son necesarios para que los estudiantes puedan realizar el cálculo de las pérdidas de sustancia debidas a su solubilización.

Temperatura/°C	Solubilidad /(g/100 mL)
20	1,4
100	5,0

Ref.<http://www.pharmweb.net/pwmirror/pwy/paracetamol/pharmwebpicm.html>

*Además, el paracetamol es soluble en los siguientes solventes (datos en g/100 mL, a temperatura ambiente): etanol al 95%, 14,3; acetona, 7,7; glicerol, 2,5; propilén glicol, 11,1; metanol, 10.*

**MEDIDAS DE SEGURIDAD**

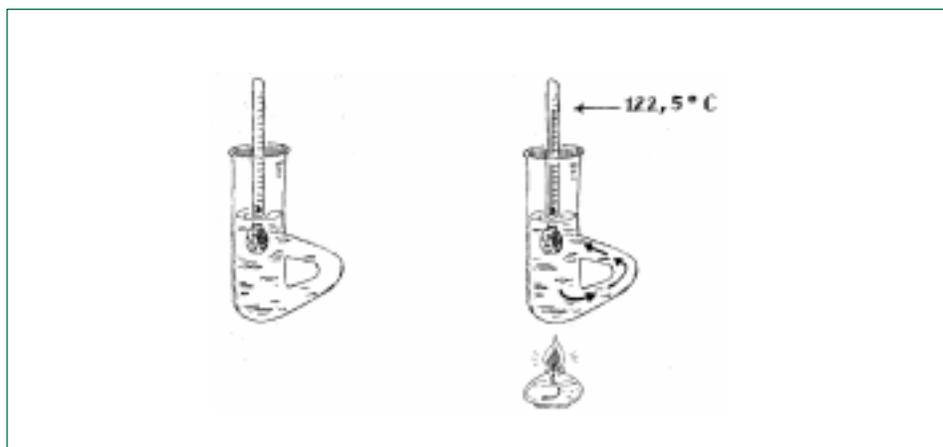
**!** Es importante que al filtrar el líquido caliente los estudiantes utilicen guantes de goma o tela y un paño o lámina de goma, espuma de poliuretano o de un material similar, que permita asir el matraz firmemente y sin riesgo de quemaduras. Si bien el cuello del matraz no estará inicialmente demasiado caliente, una vez que se inclina para vaciar el líquido, la temperatura del cuello será próxima a 100 °C y, si no se toma precaución alguna, existe riesgo que un estudiante al quemarse suelte el matraz y ocasione un accidente de mayor gravedad.

**Actividad 3**

Diferencian entre un sólido amorfo y uno cristalino basándose en algunas de sus propiedades.

Ejemplo

Experimentan y realizan observaciones en cristales de ácido benzoico y en azufre plástico.



Para desarrollar la experimentación realizan el siguiente procedimiento:

#### **Punto de fusión del ácido benzoico**

Los estudiantes determinan el punto de fusión del ácido benzoico mediante un tubo Thiele o utilizando un matraz de fondo redondo.

1. Colocan unos pocos cristales de la sustancia en un capilar, lo sellan y lo adosan al bulbo de un termómetro sumergido en aceite mineral.
2. Calientan lentamente el tubo Thiele con un mechero de alcohol o con una vela, según se indica en la ilustración anterior. Observarán que los cristales de ácido benzoico funden a una temperatura muy precisa, 122,5 °C.
3. Dibujan el dispositivo utilizado y anotan la temperatura a la cual comienza y termina de fundir el sólido.
4. El docente señala que el punto de fusión es una propiedad característica de cada sólido cristalino y que sirve para su identificación o para detectar la presencia de impurezas.
5. Hacen inferencias en relación a la pureza del sólido, basándose en el valor y rango de la temperatura de fusión.

#### **Fusión y enfriamiento brusco de azufre líquido**

1. En un espacio abierto en el exterior alumnas y alumnos calientan lentamente 1 g de azufre en polvo (microcristalino) en un vaso de precipitados, sobre un trípode con rejilla, cubierto con un vidrio de reloj para limitar la entrada de aire.
2. Detienen el calentamiento cuando la temperatura ha sobrepasado ligeramente 150 °C.
3. Vierten rápidamente el líquido que se ha formado sobre agua y prueban la consistencia del material resultante.
4. Calientan el azufre plástico y observan si la transición a líquido es definida o, por el contrario, no existe un punto de fusión nítido.
5. Registran en su cuaderno lo observado y hacen un dibujo del arreglo experimental utilizado.

Los estudiantes reflexionan sobre sus resultados.

- Comparan las características de las sustancias obtenidas en estos ensayos y las describen en su cuaderno.
- Indagan por qué el azufre adquiere consistencia plástica al enfriarlo bruscamente.
- Obtienen conclusiones sobre la diferencia que existe cuando se calienta un sólido cristalino (paracetamol) y uno amorfo (azufre plástico).
- Explican estas diferencias en base a sus conocimientos acerca de los sólidos cristalinos y amorfos.
- Intentan fundamentar sus razones y las debaten.

### **Demostración de los cambios producidos por calentamiento de vidrio y poliestireno**

Estas actividades son realizadas por el docente

- Tomando las debidas precauciones, calienta directamente en un mechero de gas una varilla o tubo delgado de vidrio de soda y muestra que se vuelve plástico a medida que la temperatura aumenta.
- Calienta poliestireno hasta una temperatura ligeramente superior a 100 °C y lo deja enfriar. A una temperatura de 97 °C ocurre la transición a un sólido amorfo vítreo. (*Ver indicaciones al docente*)

Los estudiantes registran sus observaciones e indagan, tratando de responder:

- Si en el caso del calentamiento del vidrio puede hablarse de un punto de fusión.
- En caso de ser así, ¿en qué momento puede decirse que el vidrio está fundiendo?
- Acaso el sólido obtenido de poliestireno tiene una apariencia cristalina. Observan trozos al microscopio.

### **Relación entre el punto de fusión de un sólido y su pureza**

Los estudiantes se informan acerca de:

- El efecto de las impurezas sobre el punto de fusión medido.
- El rango observado para el punto de fusión y su relación con la pureza del sólido.
- Las razones que podrían explicar que una sustancia impura presente un amplio rango de punto de fusión.

## INDICACIONES AL DOCENTE

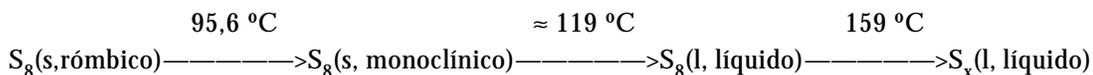
**FUSIÓN DEL AZUFRE Y SUS TRANSFORMACIONES ESTRUCTURALES**

Es importante que el docente señale que en el azufre sólido el cristal consiste de un ordenamiento de unidades formadas por anillos de ocho átomos, es decir, moléculas  $S_8$ .

Los procesos que ocurren al fundir azufre son complejos y por ello es importante que el docente no entregue información detallada acerca de las transiciones que ocurren al calentar azufre y únicamente mencione la estructura básica del cristal y la ruptura de anillos y formación de cadenas, a medida que se eleva la temperatura.

Para información general del docente se describe a continuación las transformaciones que ocurren al calentar azufre.

Cuando se eleva la temperatura del sólido primero ocurre una transformación cristalina, y los cristales de azufre rómbicos cambian su forma a monoclinicos. En ambas formas, sin embargo, la unidad estructural es la misma: la molécula octaatómica,  $S_8$ . Luego, si se continúa calentando, a aproximadamente 119 °C se produce la fusión del sólido.



Si se enfría el sólido que ha sido previamente calentado durante 15-20 minutos entre 95,6 y 119 °C, por ejemplo a 110 °C, se puede observar al microscopio, a temperatura ambiente, cristales de azufre monoclinico, ya que su transformación en la forma rómbica es bastante lenta y se prolonga por varios días.

Sobre 119 °C los cristales funden transformándose en un líquido fluido, que contiene todavía anillos  $S_8$ .

Cuando se mantiene el líquido a esa temperatura durante algún tiempo o se eleva ligeramente, la sustancia se vuelve más viscosa. La explicación es que se ha producido la ruptura de los anillos  $S_8$  con formación de largas cadenas de azufre. La sustancia tiene un comportamiento similar al de los polímeros y cuando se enfría bruscamente su solubilidad es muy pequeña, aun en solventes que habitualmente disuelven muy bien el azufre ( por ejemplo, sulfuro de carbono,  $CS_2$ ).

Cuando se calienta el azufre a una mayor temperatura, a 159 °C ocurre un aumento muy brusco de la viscosidad del líquido (en un factor de 1000 veces). Ello se debe a que se sobrepasa la solubilidad del líquido formado por cadenas en el líquido que contiene anillos  $S_8$ . Cuando se sigue calentando se forman cada vez más cadenas a expensas de los anillos  $S_8$ , hasta que finalmente se obtiene un líquido bastante viscoso. Alrededor de 200 °C la viscosidad es máxima y las cadenas han alcanzado su máxima longitud y contienen sobre 1000 átomos de S. Cuando se aumenta aun más la temperatura se observa que la viscosidad disminuye, como es habitual en materiales plásticos. La razón de este fenómeno es que a más alta temperatura las cadenas se cortan en trozos de menor tamaño y producen un líquido café oscuro, que al verterlo rápidamente sobre agua fría genera un hilo flexible, de color anaranjado-rojizo, que se conoce como azufre plástico. Éste contiene tanto cadenas como ciclos  $S_8$ .

### PUNTO DE FUSIÓN Y PUREZA

Con respecto al rango del punto de fusión es importante que el docente señale que un sólido puro funde siempre a una temperatura superior que uno que se halla impurificado.

Una posible hipótesis para la explicación del fenómeno es que en un sólido impuro existen zonas en las que se producen asimetrías en las fuerzas de interacción debido a que las interacciones entre las moléculas del compuesto son diferentes a las de las impurezas. Cuando se aumenta la temperatura la agitación de las moléculas va en aumento y también crece la energía de vibración hasta que finalmente en ciertas regiones son vencidas las interacciones intermoleculares y se produce la fusión.

### EL FENÓMENO DE FUSIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA TERMODINÁMICO

El proceso de fusión puede también ser visto desde el punto de vista de la termodinámica: el cambio de energía libre para la fusión de un sólido se expresa como

$$\Delta G_{\text{fusión}} = \Delta H_{\text{fusión}} - T_{\text{fusión}} \Delta S_{\text{fusión}}$$

El proceso de fusión es endotérmico, es decir  $\Delta H_{\text{fusión}} > 0$ , por lo tanto, para que dicho proceso ocurra el término  $T\Delta S_{\text{fusión}}$  debe ser positivo y tiene que compensar al término entálpico, de modo que el cambio de energía libre resultante,  $\Delta G_{\text{fusión}}$ , sea negativo. Experimentalmente se comprueba que en los sólidos con impurezas el proceso de fusión ocurre a menor temperatura que en los respectivos sólidos puros. Ello se puede deber a dos motivos presentes alternativa o simultáneamente:

- Que el  $\Delta H_{\text{fusión}}$  del sólido impuro sea menor, debido a que la red cristalina se rompe más fácilmente que en el sólido puro.
- Que el  $\Delta S_{\text{fusión}}$  sea mayor porque las impurezas aumentan más la entropía del líquido respecto del sólido si se compara con lo que sucede en la fusión del sólido puro.

### PRECAUCIONES A OBSERVAR DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN

**!** El docente supervisará la experimentación, exigiendo que alumnos y alumnas observen cuidadosamente las normas de seguridad. Las cantidades utilizadas deberán ser las mínimas necesarias para observar las transformaciones.

Al calentar azufre se debe tener en cuenta que al estado fundido éste puede encontrarse a una temperatura próxima a 200 °C y que es capaz de producir severas quemaduras si cae sobre la piel.

Se debe advertir a los estudiantes que cuiden de no sobrepasar la temperatura indicada sobre la escala superior del termómetro ya que en caso contrario se producirá inevitablemente su rotura. (Los tubos capilares de algunos termómetros disponen de un bulbo o cámara de expansión en su parte superior, pero se debe evitar que el líquido alcance esa zona porque suele producirse entrada de vapor al capilar con interrupción de la continuidad de la columna de líquido en su interior).

Para evitar el uso de muchos termómetros de mercurio, el docente podrá hacer rotar 2 o 3 de ellos entre los estudiantes, encareciéndoles que tengan cuidado en su manipulación para evitar su rotura y la diseminación de mercurio en el laboratorio.

Conviene advertir a los estudiantes que el azufre presenta toxicidad para el ser humano, aunque en las zonas vitivinícolas ellos pueden estar familiarizados con este elemento, ya que se usa en el combate de plagas (oidium). El dióxido de azufre suele ser utilizado en la desinfección de cubas y barriles, por su acción letal sobre microorganismos que producen procesos de putrefacción y fermentación.

En la experimentación referida al estado amorfo del poliestireno (plumavit®) se debe calentar cuidadosamente una pequeña cantidad de éste, para evitar que se inflame. No se requieren altas temperaturas para producir la transición al estado líquido y cuando ello ocurre se enfría la masa, formándose un material amorfo vítreo, en el cual se conserva básicamente la estructura del polímero.

Si no se dispone de poliestireno se puede utilizar bórax, que es un ejemplo útil por su importancia en el análisis cualitativo clásico, en el que se funde bórax con formación de una perla vítrea que tiene la propiedad de disolver diversos óxidos metálicos, dando colores característicos en frío y caliente.

#### Actividad 4

---

**Distinguen entre las propiedades de diferentes sólidos cristalinos e intentan relacionarlas con su estructura.**

##### Ejemplo

Alumnas y alumnos, distribuidos en grupos de dos, indagan sobre las propiedades generales de dos sólidos que les sean familiares y averiguan acerca de su estructura y de una posible relación de ésta con sus propiedades.

##### Procedimiento

El profesor o profesora llama primeramente la atención de los estudiantes en el sentido que en las tres primeras actividades han conocido dos tipos de sólidos, cristalinos y amorfos, pero que dicha clasificación es muy general.

Los estudiantes indagan y debaten acerca de lo siguiente:

- Cuáles son los rasgos de un sólido cristalino que lo diferencian de uno amorfo.
- Si todos los sólidos cristalinos tienen una estructura similar.
- Si ello no es así, qué determina que un sólido presente bajo ciertas condiciones una estructura definida y no cualquier tipo de estructura.
- Si los sólidos cristalinos tienen propiedades similares (forma cristalina, punto de fusión, dureza, solubilidad, color, etc.).
- De no ser así, qué factores determinan las propiedades de un sólido.

A continuación el docente asigna a cada grupo de dos alumnas y/o alumnos dos sólidos y les entrega una pequeña muestra de éstos.

Los estudiantes disponen de una tabla con el nombre, fórmula y propiedades de varios sólidos tales como el punto de fusión, densidad y solubilidad en agua. (*Ver indicaciones al docente*).

Alumnos y alumnas de cada grupo:

- Debaten acerca de las propiedades de los sólidos escogidos, según lo que aparece en la tabla, y las comparan entre sí. Para ello puede servir de guía un conjunto de interrogantes tales como las siguientes:
  - ¿Subliman estos sólidos con facilidad?
  - ¿Posee alguno de ellos un olor característico?
  - ¿Son comparables sus puntos de fusión?
  - ¿Qué pueden decir acerca de su dureza?
  - ¿Es similar su transparencia, es decir, transmiten o no la luz a su través?
- Anotan y discuten las características estructurales de los dos sólidos escogidos y su relación con algunas de sus propiedades.
- Indagan sobre su forma externa y estructura interna.
- Hacen dibujos o modelos que representen su forma y estructura.

Finalmente indagan y responden a lo siguiente en relación a la dureza:

- Lo que se entiende por dureza de un cristal.
- De cómo se define la escala de dureza de Mohs.
- Cuál es en esa escala el cristal más duro y cuál el más blando.
- De qué manera clasificarían los cristales seleccionados en cuanto a su dureza.
- Relación entre la dureza de un cristal y su estructura.
- Importancia de los diamantes sintéticos en la tecnología minera.
- Uso del grafito como lubricante sólido o aditivo de grasas.

## INDICACIONES AL DOCENTE

**SELECCIÓN DE LOS SÓLIDOS A SER ASIGNADOS**

Para la selección de los sólidos, es importante que el docente proponga pares de sustancias que presenten una notable diferencia estructural y al menos una gran diferencia en alguna de sus propiedades.

Los estudiantes podrían elegir, por ejemplo, cualquiera de los siguientes pares:

Cloruro de sodio	-	grafito
Cloruro de sodio	-	hielo
Cloruro de sodio	-	cobre
Cloruro de sodio	-	sulfato de cobre
Cloruro de sodio	-	ácido bórico
Grafito	-	azufre
Grafito	-	hielo
Grafito	-	ácido bórico
Grafito	-	sulfato de cobre
Azufre	-	sulfato de cobre
Azufre	-	hielo
Azufre	-	cobre
Azufre	-	ácido bórico
Cobre	-	hielo
Cobre	-	ácido bórico

Una elección adecuada de los sólidos ayudará a que los estudiantes se convenzan que existe una enorme variedad de sólidos, los que presentan propiedades que suelen ser muy diferentes.

Es indispensable poner a disposición de los estudiantes pequeñas cantidades de los sólidos para que puedan observarlos, tocarlos y aproximarse mejor a sus propiedades sensibles (transparencia, dureza, color, olor, forma cristalina, etc.).

**PROPIEDADES DE ALGUNOS SÓLIDOS CRISTALINOS**

La siguiente tabla informa sobre algunas propiedades de varias sustancias a temperatura y presión ambiente, lo que puede ayudar al desarrollo de esta actividad. Con la única excepción del agua, todos son sólidos cristalinos bajo esas condiciones.

Nombre	Fórmula o símbolo	Densidad g/mL	Color	Punto de fusión °C	Solubilidad en agua a 20 °C g/100 mL
Agua	H <sub>2</sub> O	1,0	incolora	0	—
Cobre	Cu	8,96	rojizo	1083	insoluble
Cloruro de sodio	NaCl	2,16	incolore	800	26,5
Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,53	blanco	854	17,9
Carbonato de potasio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,428	blanco	900	52,5
Grafito	C	2,25	gris metálico	3800	insoluble
Diamante	C	3,51	incolore	(inestable: a alta t° se transforma en grafito)	insoluble
Hidróxido de sodio	NaOH	2,13	blanco	319,1	52
Oxido de aluminio (forma α)	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,99	blanco	2045	insoluble
Sulfuro de aluminio	Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	2,37	amarillo	1100	descompone
Azufre	S	2,07	amarillo	115,18	insoluble
Sulfato de cobre (II)	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2,286	azul	—	21
Acido bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,435	blanco	170 (4 atm)	4,89
Paracetamol	C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	1,293	blanco	168	—
Oxido de cobre(I)	Cu <sub>2</sub> O	6,0	rojo	1230	0,00001
Cloruro de hierro(II)	FeCl <sub>2</sub>	2,98	blanco	677	38,6
Cloruro de litio	LiCl	2,068	incolore	614	45

Fuente: Chemiker-Kalender, 2ª Ed., Springer Verlag, Berlín, 1974.

Es importante que el docente invite a los estudiantes a analizar los valores de la tabla asociados a algunas propiedades. Alumnos y alumnas podrán observar, por ejemplo, que las densidades de estos sólidos a 20 °C van desde 1,293 hasta 8,96 g/mL y que por otra parte sus puntos de fusión varían entre 0 y 3800 °C. De aquí podrán concluir que cada sólido tiene propiedades específicas que lo diferencian de otros. Si bien en la tabla no se indica el tipo de estructura de cada sólido, el docente podrá acotar que ésta es diferente en varios de estos sólidos cristalinos.

#### **RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA DE UN SÓLIDO Y SUS PROPIEDADES**

Es importante que la distinción entre las diferentes clases de sólidos lleve a los estudiantes a valorar la importancia práctica de relacionar la estructura de un sólido con algunas de sus propiedades. En ello es fundamental que el profesor o profesora los apoye y guíe para que encuentren y analicen esas relaciones.

Se recomienda relacionar dureza, facilidad de sublimación, punto de fusión y solubilidad. En este último caso se deberá advertir que ésta es una propiedad que depende, además, de las características del solvente.

A continuación se dan algunos ejemplos de propiedades relacionadas a la facilidad de sublimación y a la dureza de sólidos cristalinos.

#### **Sublimación**

Un cristal de diamante es muy difícil de sublimar, lo que se explica porque la separación de átomos de carbono del cristal involucra romper 4 enlaces fuertes con sus vecinos, mientras que ello es mucho más fácil en el azufre, en el cual las unidades  $S_8$  están débilmente asociadas entre sí.

Por otra parte, el hielo se puede sublimar con relativa facilidad, de hecho existe una pequeña cantidad de vapor de agua en equilibrio con el hielo, debido a que el puente de hidrógeno es una interacción de baja energía.

La sublimación de un sólido iónico como NaCl es muy difícil, ya que las interacciones iónicas son intensas y no se pueden separar iones aislados del cristal sino que ello siempre deberá verificarse en igual número de aniones  $Cl^-$  y de cationes  $Na^+$ , manteniendo así la electroneutralidad del cristal y del vapor.

Los estudiantes han observado lo que sucede después de un tiempo con las bolitas de naftaleno (“naftalina”) que son utilizadas para combatir las polillas. Ellos podrán concluir que la naftalina sublima fácilmente, y su olor se percibe justamente debido a que hay moléculas de naftalina en el aire. (De otro modo no podría actuar sobre las polillas, para las que es muy tóxica).

#### **Dureza**

La escala de Mohs es una de las muchas formas que se han desarrollado para comparar experimentalmente la dureza de los sólidos, en una escala arbitraria de 1 al 10. Ella se basa en la facilidad con que un sólido raya a otro. De este modo, se puede establecer que el diamante no puede ser rayado por ningún otro sólido y se le asigna el valor 10 de dureza. En el otro extremo, el talco es el sólido más blando y se le asigna el valor 1.

Los alumnos y alumnas pueden experimentar utilizando para comparación tres de los cristales utilizados para definir la escala de Mohs, por ejemplo, cuarzo (7), fluorita (4) y yeso (2), y ubicar la dureza de sus sólidos con respecto a estos materiales. Naturalmente que el establecimiento deberá contar con muestras cristalinas de ellos.

El grafito es blando cuando se raya en dirección paralela a las capas de su estructura hexagonal, pero mucho más duro en dirección perpendicular. (A modo de introducción véase, por ejemplo, Jaume Casabó i Gispert, *Estructura atómica y enlace químico*, Editorial Reverté, Barcelona, 1996, pág. 362-364; Steven S. Zumdahl, *Chemical Principles*, Editorial Houghton Mifflin Co, Boston, 3ª Edición, 1998, pág. 750-751).

El hielo es relativamente duro y su estructura, en lo que se refiere a la disposición de los átomos de oxígeno, es similar a la del diamante.

El ácido bórico es muy blando, lo que se explica por una estructura en capas en la que las moléculas interactúan entre sí por puente de hidrógeno.

Es fundamental que el docente apoye y guíe a los estudiantes para que indaguen sistemáticamente y obtengan algunas conclusiones, al menos de carácter provisorio o tentativo, sobre la relación entre la estructura y alguna propiedad de los sólidos que hayan escogido para su estudio.

#### CRITERIOS UTILIZADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SÓLIDOS

Es importante que el docente visualice, ya al inicio de esta actividad, que se están introduciendo conceptos que permiten utilizar dos diferentes criterios de clasificación para los sólidos.

El primer criterio y más básico es netamente uno de relación orden-desorden de la estructura. Consecuencia de esa diferencia estructural es que un sólido cristalino tendrá diferentes propiedades (térmicas, mecánicas, ópticas, eléctricas, etc.) que un sólido amorfo de idéntica composición química.

Así por ejemplo, el cuarzo es mucho más duro y presenta mayor resistencia cuando es sometido a cambios bruscos de temperatura que un vidrio amorfo de composición similar, lo que se debe a que el coeficiente de dilatación del cuarzo es muy pequeño.

El otro criterio de clasificación tiene que ver con la identidad de las especies que constituyen la estructura y con las fuerzas de interacción entre dichas especies. Según este criterio los sólidos se clasifican en:

- Sólidos iónicos*: las especies químicas que constituyen el sólido son iones y las interacciones entre ellos son fuerzas electrostáticas, esto es, atracciones y repulsiones entre iones de carga de signo opuesto e igual, respectivamente. Caso típico: NaCl.
- Sólidos covalentes*: son también llamados de red gigante o macromolecular. Las especies que forman este tipo de sólidos son átomos que se enlazan unos con otros mediante uniones covalentes formando una malla, por lo general tridimensional. Ejemplo característico  $C_{\text{diamante}}$ .
- Sólidos moleculares*: en ellos las unidades constitutivas del cristal son moléculas discretas que interactúan entre sí con fuerzas normalmente bastante menores que las de un enlace covalente. Estas fuerzas son dipolares o entre dipolos (permanentes y/o inducidos), por puente de hidrógeno, fuerzas de dispersión. Caso típico es el hielo.
- Sólidos metálicos*: en este tipo de sólidos las fuerzas de interacción corresponden al llamado enlace metálico y de acuerdo a la teoría de O.M. (orbitales moleculares), los orbitales atómicos de los átomos metálicos del cristal se combinan entre sí generando O.M., algunos de los cuales forman la llamada banda de conducción, que tiene una energía tal que puede ser ocupada por electrones a temperatura ambiente. En dicha banda los electrones pueden desplazarse fácilmente cuando se aplica una diferencia de voltaje al metal. Ello explica la alta conductividad eléctrica de los metales.

Se debe tener presente que de acuerdo con estos criterios de clasificación, podemos tener un sólido iónico y cristalino, pero también iónico y amorfo, etc.

Muchas propiedades dependen principalmente de la naturaleza de las especies que forman el sólido (iones, moléculas, átomos) y de las fuerzas de interacción entre ellas. Estas propiedades dependen fundamentalmente de la estructura electrónica. (Orden en microdominios, algunas propiedades ópticas). En general, los sólidos iónicos, amorfos o cristalinos, poseen puntos de fusión mucho más altos que sólidos moleculares, sean éstos amorfos o cristalinos.

La claridad con que el docente sepa transmitir estos conceptos a sus estudiantes, le permitirá guiarlos en forma entusiasta en la búsqueda de respuestas adecuadas a las interrogantes que él o aquéllos hayan planteado. En todo caso no es conveniente introducir demasiados detalles finos estructurales, ya que ello les hará perder la visión del conjunto, que en esta etapa del aprendizaje es de fundamental importancia.

### Actividad 5

---

**Obtienen sólidos cristalinos iónicos e indagan acerca de la celda unidad correspondiente a cada sólido.**

Ejemplo

Preparan sólidos cristalinos iónicos por alguno de los siguientes métodos (*Ver indicaciones al docente*):

- Crecimiento de cristales por recristalización.
- Crecimiento de cristales en geles.
- Crecimiento de cristales por desplazamiento de equilibrio en un medio fluido.

Indagan acerca de las propiedades estructurales de los cristales obtenidos, particularmente en relación a su sistema cristalino y tipo de celda unidad.

Procedimiento

Cada grupo de dos estudiantes se interioriza acerca del método que utilizará para obtener sus cristales y a continuación los preparan.

#### **a. Crecimiento de cristales por recristalización**

*Ejemplo: cristalización de salitre potásico,  $KNO_3$ .*

- Disuelven una cierta masa de salitre en un volumen de agua caliente, destilada o desionizada, que sea numéricamente igual, expresado en mL, a la masa de salitre seco, expresada en g.

2. Calientan la mezcla hasta obtener la completa disolución del sólido y dejan enfriar.
3. Colocan el recipiente dentro de un baño de hielo, de manera que la temperatura baje a 5 °C o menos y lo dejan reposar algunos minutos.
4. Filtran y secan los cristales sobre papel filtro u otro papel absorbente; luego los pesan y determinan el rendimiento de la cristalización.
5. Toman nota en sus cuadernos sobre la cantidad de sal utilizada y el procedimiento empleado, el rendimiento obtenido; dibujan el arreglo experimental y los cristales obtenidos.

*Ejemplo alternativo: cristalización de sulfato de cobre,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$*

1. Preparan una solución saturada de la sal a una temperatura unos 10° C sobre la temperatura ambiente.
2. Colocan un par de gotas de la solución sobre un portaobjetos que ha sido temperado previamente a la temperatura de la solución.
3. Observan el proceso de cristalización al microscopio.
4. Toman nota de sus observaciones en el cuaderno y dibujan el arreglo experimental y los cristales obtenidos, intentando reproducirlos lo más exactamente posible.

#### **b. Crecimiento de cristales en geles**

Este experimento requiere la preparación de algunas disoluciones:

1. Disolución de metasilicato sódico,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 24,4% (p/v)

Se prepara disolviendo 24,4 g de metasilicato sódico nonahidrato,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  en 60 mL de agua destilada. La solución resultante se diluye con agua destilada o desionizada para completar un volumen de 100 mL.

2. Disolución de ácido tartárico,  $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ , 1,5 M

Se preparan 100 mL de esta disolución disolviendo 22,5 g de ácido tartárico en 60 mL de agua destilada o desionizada y diluyendo luego con dicha agua a 100 mL.

3. Disolución de sulfato de cobre,  $\text{CuSO}_4$ , 1M

Sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) 1 M (para preparar 1 litro de solución).

Se disuelven 25 g de la sal pentahidratada,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , en 60 mL de agua destilada y se diluye a un volumen total de 0,1 L.

4. Disolución de cloruro de potasio, KCl, 1M

Disolver 7,5 g de KCl en 60 mL de agua destilada y diluir hasta un volumen total de 0,1 L.

5. Disolución de nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ), 1M

Disolver 10 g de  $\text{KNO}_3$  en 60 mL de agua destilada y completar a 0,1 L el volumen de la solución resultante.

*Preparación del gel*

1. Verter 15 mL de la solución de ácido tartárico 1,5 M en el vaso de precipitados.
2. Mientras se agita vigorosamente la mezcla agregar lentamente 15 mL de la solución preparada de silicato de sodio.
3. Vaciar la mezcla en los tubos de ensayo contenidos en la gradilla y esperar a que se forme el gel (5-30 minutos).

*Preparación de los cristales*

1. En la parte superior del gel agregar 2 mL de solución de sulfato de cobre o bien, de cloruro o nitrato de potasio.
2. Tapar el tubo y ubicarlo en un lugar en que pueda ser observado sin moverlo ni tocarlo durante varios días.
3. En ese tiempo se formarán cristales azules brillantes de varios tartratos de cobre, o grandes cristales transparentes de tartrato de potasio en los dos casos restantes. Los cristales crecerán desde la parte superior del gel hacia la base del tubo.

Los estudiantes observan, dibujan e indagan:

- Toman nota en sus cuadernos de sus observaciones y dibujan las diferentes etapas en la obtención de los cristales.
- Observan los cristales con una lupa o, mejor aún, con un microscopio, los dibujan registrando su aspecto, forma y color.
- Averiguan qué cristales se han formado.
- Indagan acerca del tipo de celda unidad que corresponde a cada cristal.

Los estudiantes, guiados por el docente, debaten acerca de lo siguiente:

- Lo que se entiende por un cristal de buena calidad.
- Las condiciones experimentales que son necesarias para obtener cristales de buena calidad.
- El papel que desempeña el gel para cumplir dichas condiciones, distinguiendo si es un factor preponderantemente termodinámico o cinético.
- Razón por la que los tubos en que se forman los cristales no deben ser movidos mientras ocurre la cristalización.

Al término del debate, si es necesario el profesor o la profesora explica y precisa los fundamentos de las respuestas ensayadas por los alumnos.

Lectura recomendada: Journal of Chemical Education 62,81(1985)

### c. Crecimiento de cristales por desplazamiento de equilibrio en un medio fluido

Este procedimiento proporciona cristales de buen tamaño y bien formados, pero su realización requiere disponer de bastante tiempo.

Los estudiantes pueden escoger la preparación de alguna de las siguientes sales:

- Alumbre de potasio,  $KAl(SO_4)_2$
  - Sulfato de cobre pentahidrato,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  (piedra azul)
  - Sulfato de magnesio heptahidrato,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (sal de Epson, laxante)
  - Cloruro de sodio,  $NaCl$  (sal de mesa o cristal de roca)
1. Verter agua tibia hasta 1/2 de la capacidad de un vaso transparente de 250 mL.
  2. Agregar una porción de unos 30 g de la sal a cristalizar, agitar cada 5 min hasta completar 30 min.
  3. Si es necesario, repetir la adición de sal y el procedimiento anterior hasta que quede algo de sólido sin disolver.
  4. En otro vaso de 250 mL, vacío, disponer un hilo en uno de cuyos extremos se colocará un clip plástico. El otro extremo se ata a la parte media de una varilla o lápiz que se apoya en los bordes del vaso.



5. Ajustar la longitud del hilo de manera que el clip apenas descansa sobre el fondo del vaso.
6. Retirar el hilo con el clip.
7. Vaciar el sobrenadante de la solución saturada antes preparada, evitando transferir partículas del sólido.
8. Instalar nuevamente el hilo suspendido de la varilla o lápiz como se indica en la figura.
9. Cubrir el vaso con un plástico y ubicarlo en un lugar en que no sea movido y que tenga una temperatura más o menos constante.  
(Evitar lugares calefaccionados o que reciban luz directa del sol).

Los estudiantes observan y anotan:

- Los cambios que ocurren diariamente en la solución, toman nota de sus observaciones en sus cuadernos y dibujan.
- Al final del proceso observan los cristales con una lupa o microscopio y los dibujan.

Alumnas y alumnos indagan acerca de algunos de los siguientes puntos:

- Propiedades generales que caracterizan a los cristales iónicos.
- Materia de estudio de la cristalografía.
- Importancia de la cristalografía para el estudio de los minerales, prospecciones mineras y explotación de recursos mineros metálicos y no metálicos.

- Lo que se entiende por un cristal de buena calidad.
- Las condiciones experimentales necesarias para obtener dicho cristal.
- Naturaleza de tales condiciones, vale decir, si ellas son de índole preponderantemente cinética o termodinámica.
- Razón por la que se evitó trasvasijar partículas de sólido al vaso en que se realizó la cristalización.
- Motivo por el cual es importante que la solución esté en reposo.
- Efecto de un cambio de la temperatura de la solución sobre el fenómeno de cristalización. (Analizar tanto un ligero aumento como una leve disminución de la temperatura).
- Función que cumple el plástico que cubre el vaso.
- Factores que afectan la velocidad de evaporación del agua de la solución.
- Papel que desempeña el hilo en el fenómeno de cristalización.

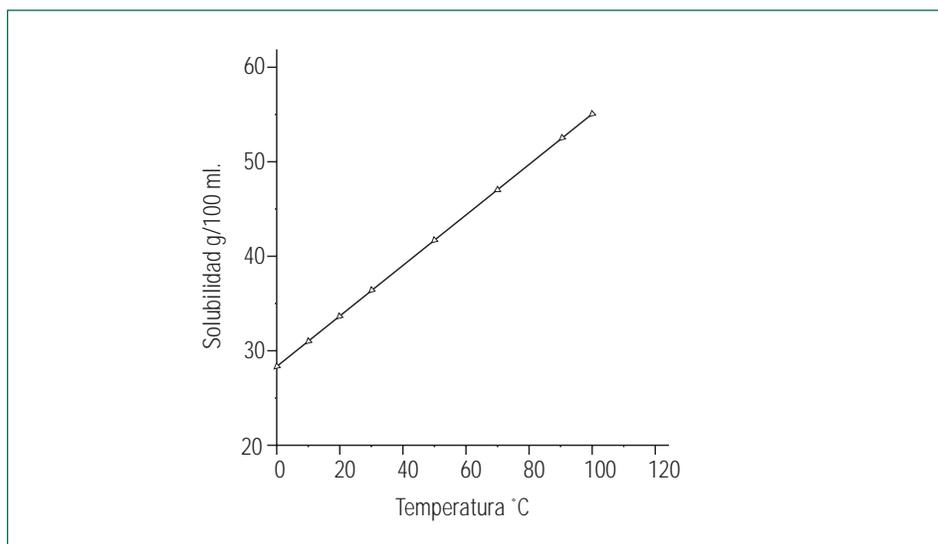
Los estudiantes debaten:

- Acaso el proceso de cristalización realizado se puede calificar de óptimo, fundamentando por qué.
- Por qué ayuda untar con vaselina el hilo en orden a obtener un mejor cristal.

### **Efecto de la temperatura sobre la solubilidad de una sal**

Los alumnos y alumnas dibujan, a partir de datos entregados por el docente, un gráfico que describe la solubilidad en función de la temperatura. Así por ejemplo, para el KCl se tiene:

Temperatura/°C	0	10	20	30	50	70	90	100
Solubilidad g/100 g de agua	28,5	32,0	34,7	37,4	42,8	48,3	53,8	56,6



Los estudiantes averiguan, basándose en los datos con que disponen y de información obtenida en la literatura o a través de internet:

- La solubilidad del KCl a 80 °C.
- Masa de cristales de KCl que se espera obtener de una solución saturada a 70 °C, cuando se enfría a 20 °C, si ella fue preparada utilizando 100 g de KCl.
- Forma que debe tener un gráfico solubilidad vs tiempo, representado por medio de una línea punteada, en el proceso de enfriamiento anterior, considerando que se dispuso una velocidad de enfriamiento constante tal, que la temperatura de la disolución disminuyó a razón de 5 0°C/minuto.
- ¿Qué es la celda unidad? ¿Cómo es ésta en un cristal de KCl?

Finalmente, los estudiantes construyen un modelo de la celda unidad del KCl mediante palos de maqueta y esferas de plumavit, de manera que el tamaño relativo de los iones esté representado más o menos correctamente.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

#### **ELECCIÓN DEL MÉTODO DE CRISTALIZACIÓN A UTILIZAR**

El método a) de obtención de cristales por cristalización es el más simple y puede ser aplicado cuando no se cuenta con los recursos para realizar los otros procedimientos.

En todo caso, es aconsejable que la primera vez que el docente implemente este nuevo programa escoja este primer método y que posteriormente introduzca los otros métodos b) y c), hasta que finalmente, después de 2-3 años, los alumnos y alumnas puedan escoger entre cualquiera de ellos.

#### **DEPENDENCIA DE LA SOLUBILIDAD CON LA TEMPERATURA**

Esta es una propiedad muy importante de los sólidos y conviene que los estudiantes la conozcan con cierto detalle.

Es necesario que la profesora o el profesor distinga clara y explícitamente entre la solubilidad (determinada por factores termodinámicos) y la cinética que determina la velocidad de disolución, sobre la que influyen factores de diverso tipo: temperatura, agitación y estado de división del sólido.

Es importante que el docente destaque que la dependencia de la solubilidad con la temperatura rara vez es lineal, para que los estudiantes no infieran que ello es comúnmente así, como podría pensarse a partir del gráfico observado para el caso del KCl. En razón de ello pueden ser representadas otras curvas de solubilidad, mostrando casos de fuerte y débil dependencia de la solubilidad con la temperatura.

#### **PRECAUCIONES A OBSERVAR EN EL TRABAJO EXPERIMENTAL Y SUGERENCIAS METODOLÓGICAS**

**!** La solución de silicato de sodio es muy básica por lo que se debe evitar que entre en contacto con la piel y especialmente con los ojos. El uso de gafas de seguridad debe ser obligatorio durante el desarrollo de toda la actividad.

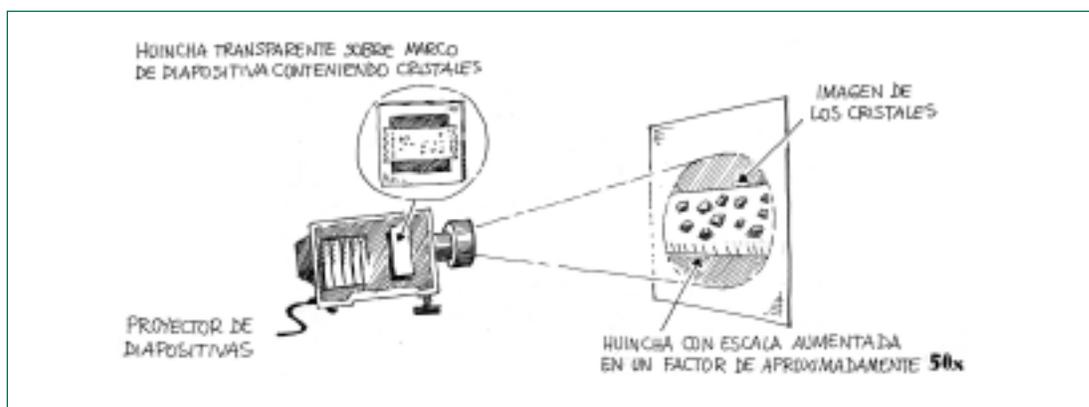
Idealmente se escogerán sustancias asociadas a la vida cotidiana o se utilizarán sales que son comunes en la región y de importancia económica para ella. Esta elección puede ser, por ejemplo, sales de litio, salitre potásico, sales de cobre, en las regiones del norte, sal común y sales de cobre en las regiones centrales; sal común y sales de cinc en las regiones del sur.

Teniendo en cuenta que la preparación de las soluciones requiere tiempo, conviene que cada una de ellas sea preparada por un grupo de dos estudiantes, bajo cuidadosa supervisión del docente. Es importante que cada grupo elabore un protocolo de cómo preparó las soluciones, ya que el registro de las condiciones de trabajo es un ejercicio muy útil para que los estudiantes ordenen y sistematicen sus acciones. Además, ello puede servir para detectar posibles errores de pesada, de medición de volúmenes, etc., que de otro modo pueden pasar inadvertidos o que posteriormente sean imposibles de pesquisar.

Es importante que los estudiantes indaguen acerca de algunas propiedades de los cristales obtenidos y que intenten relacionarlas con sus rasgos estructurales. También es muy importante que dibujen los cristales con tanto detalle como les sea posible y que los colorean, intentando reproducir sus colores naturales.

Es posible que estudiantes con pocas habilidades para el dibujo se resistan a hacerlo, pero se les debe estimular para que también utilicen otros medios para mejorar la calidad de sus registros: uso de fotografías e ilustraciones obtenidas por diferentes medios.

Además de la observación de los cristales con una lupa o microscopio se recomienda observarlos también, en forma colectiva, mediante un proyector de diapositivas o retroproyectora. Para este fin se colocan pequeños cristales en un marco de diapositivas vacío, entre dos hojas de papel celofán sujetadas con una huincha transparente autoadhesiva.



En el caso de la retroproyectora pueden colocarse los cristales sobre una transparencia o bien en una cápsula Petri, en la que se han hecho crecer los cristales en el gel. Esta actividad colectiva es de gran importancia, ya que a través de ella los estudiantes comentan, emiten juicios, valoran los juicios de sus pares, debaten e interaccionan socialmente entre sí y con el docente.

A partir de una escala dibujada con un plumón fino en un borde de la diapositiva pueden estimar el tamaño de los cristales.

#### INDICACIONES ESPECÍFICAS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO B)

El profesor o profesora querrá señalar que el arte de hacer crecer cristales en geles es antiguo y que, además de ser un espectáculo hermoso, provee cristales de buena calidad para realizar con ellos otros experimentos y permite conocer cómo se distribuyen espacialmente los cristales.

Una alternativa para la preparación de la solución de metasilicato sódico es a partir del producto comercial llamado vidrio soluble, que consiste de una solución acuosa de silicato de sodio al 38-40% ( $d \approx 1,06 \text{ g/mL}$ ). Para ello, 16 mL de esa disolución se diluyen a 100 mL con agua destilada y se agita la mezcla hasta lograr su homogenización.

El gel no debe ser movido, ya que de este modo se evita la convección de la solución. Los iones componentes de la sal iónica se aproximan entre sí por difusión, lo que determina la velocidad de crecimiento del cristal. La difusión de los iones depende de la viscosidad del medio, de manera que el uso de un gel asegura un proceso lento, lográndose así cristales de buena calidad.

La difusión de una especie en disolución depende del gradiente de concentración y de una constante característica del medio y de la temperatura. Si en un tubo vertical se imagina un eje de coordenada  $z$ , cuyo origen ( $z = 0$ ) está en el fondo del recipiente que contiene una solución concentrada de la especie A, dicho gradiente es  $\Delta c_A / \Delta z$ . A medida que nos desplazamos hacia arriba del tubo aumenta el valor de  $z$  y disminuye la concentración de la especie A. La velocidad de difusión es directamente proporcional al valor de ese gradiente. Cuando la especie A se ha distribuido homogéneamente en la solución, el gradiente se hace cero y no hay flujo neto de A de una zona a otra del tubo.

El gel de sílice utilizado se prepara por acidificación de una solución de metasilicato de sodio,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Esta se obtiene disolviendo arena de sílice,  $\text{SiO}_2$ , (por ejemplo, arena blanca de playa), en una solución caliente de hidróxido de sodio. El metasilicato de sodio se hidroliza en presencia de ácido, formando un sólido amorfo gelatinoso, que es esencialmente un polímero tridimensional de  $\text{SiO}_2$ .

#### **INDICACIONES ESPECÍFICAS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO C)**

El arreglo experimental ya descrito provee las condiciones necesarias para que la evaporación del agua sea muy lenta.

Un mejor resultado se obtiene si el hilo es previamente untado con vaselina, con excepción de algunos milímetros en la porción del hilo ubicada a 1,0 cm del fondo del vaso, ya que ello disminuye la velocidad de evaporación y reduce el número de gérmenes cristalinos, aumentando así la velocidad de crecimiento y tamaño de unos pocos cristales.

#### **ELIMINACIÓN DE RESIDUOS**

Los tubos de ensayo tapados pueden ser conservados indefinidamente.

Los restantes pueden ser eliminados en recipientes estancos para residuos.

### **Actividad 6**

**Obtienen diversos silicatos y valoran su importancia para el ser humano.**

Ejemplo

Obtienen el llamado “jardín de silicato”, que consiste de hermosas estalagmitas coloreadas. Indagan acerca de la estructura general de algunos silicatos y de su importancia en la composición y estructura de la corteza terrestre, particularmente de las rocas.

Procedimiento

#### **Preparación del gel y de las estalagmitas**

- 1 En un vaso de 250 mL diluir 75 mL de solución comercial de silicato de sodio (24,3% p/v) con 125 mL de agua destilada.
- 2 Agregar a la solución, 2-3 cristales de las diferentes sales escogidas, de forma que se distribuyan en la base del vaso. (*Ver indicaciones al docente*).
- 3 Cubrir el vaso con un vidrio de reloj.
- 4 Observan el fenómeno, lo describen y dibujan en su cuaderno las fases de la preparación y los cristales resultantes.

Alumnas y alumnos indagan e intentan responder acerca de:

- El motivo por el cual se rompe, después de algún tiempo, la membrana formada alrededor de los cristales.
- El tipo de fenómeno que allí se produce y cuándo se detiene.
- Si el sistema está en equilibrio termodinámico mientras ello ocurre.
- Fenómeno que explica que la membrana vuelva a formarse, considerando que no ha habido solubilización sino sólo rotura de la membrana antes formada.

Como aplicación de lo anterior, los estudiantes debaten:

- En qué consiste el fenómeno de hemólisis que ocurre cuando los glóbulos rojos y, en general, células de diferente tipo, son suspendidas en agua destilada.
- Lo que se entiende por una solución hipotónica e hipertónica.
- Importancia de la hemólisis para el estudio del contenido celular.
- Lo que se puede predecir que ocurriría cuando la solución utilizada para suspender las células es hipertónica.

Finalmente, alumnos y alumnas averiguan:

- La importancia de los silicatos para el ser humano, en particular en lo concerniente a la estructura de la tierra y al origen de las rocas que la forman.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

##### **CRISTALES A UTILIZAR EN EL EXPERIMENTO**

Algunos de los cristales que pueden ser utilizados para la preparación de las estalagmitas son los siguientes: (En paréntesis se indica el color de la membrana respectiva).

Cloruro de aluminio,  $\text{AlCl}_3$ , (blanco); cloruro de cromo (III),  $\text{CrCl}_3$  (verde oscuro), cloruro de cobre (II),  $\text{CuCl}_2$  (azul-verdoso claro), cloruro de hierro (III),  $\text{FeCl}_3$  (amarillo); cloruro de estaño (IV),  $\text{SnCl}_4$  (blanco) o cloruro de cobalto (II),  $\text{CoCl}_2$  (azul oscuro).

##### **EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO DE FORMACIÓN DE LAS ESTALAGMITAS COLOREADAS**

En este experimento, los estudiantes siembran cristales de varias sales coloreadas en una solución de silicato de sodio. Desde la superficie de cada cristal crecen membranas en forma de columnas con los diferentes colores asociados a los diversos silicatos. Algunas de dichas columnas pueden alcanzar la superficie de la solución por crecimiento desde la base del vaso hacia la parte superior.

Alrededor de los cristales se forman membranas impermeables y que están constituidas por el precipitado, al estado coloidal, de cada uno de los silicatos insolubles, por ejemplo, silicato de hierro (III). En este caso el sólido de color amarillo comenzará a formarse cuando el cloruro de hierro (III) agregado inicialmente comience a disolverse en la solución de silicato, lo que ocurre casi instantáneamente. Las columnas cristalinas continuarán creciendo por varios días.

Como la concentración de sales al interior de la membrana es mayor que fuera de ella, se produce osmosis hasta que la membrana se rompe y la solución de las sales entra en contacto con más solución de silicato de sodio, formándose nuevamente una membrana y así sucesivamente. De este modo los cristales de silicato van creciendo hacia arriba, con un forma similar a la de un coral.

Es de importancia fundamental verificar que alumnas y alumnos han comprendido que los fenómenos dinámicos de osmosis y de difusión son los que controlan la formación de la fase sólida, y que ello ocurre mientras el sistema esté lejos del equilibrio, esto es, mientras exista un gradiente de concentración entre el interior y exterior de la membrana.

#### **IMPORTANCIA DE LOS SILICATOS, COMO PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE NUESTRO PLANETA**

La actividad desarrollada por los estudiantes es atractiva, pero más allá de su valor artístico o estético y de su importancia para el desarrollo de la sensibilidad, servirá para que tengan oportunidad de comprender que los hermosos cristales (cuarzo, amatista, sal de roca, etc.) que pueden observar en la naturaleza son el resultado de procesos naturales que requirieron condiciones ambientales físicas y químicas apropiadas. Muchos de esos cristales se han formado sólo en algunas zonas del planeta y sólo en determinadas eras geológicas. A continuación una breve introducción a este tema. (Para mayores detalles véase por ejemplo *The New Encyclopaedia Britannica*, Macropaedia, vol. 24, Minerals and rocks, pág. 162-280, Londres, 1995).

A grandes rasgos, la tierra consiste de: 1) el núcleo, constituido predominantemente por hierro; 2) el manto, formado principalmente por silicatos de magnesio y de hierro y 3) la corteza, que es una cáscara relativamente delgada que contiene principalmente sílice. La estructura de los silicatos es muy variada y compleja, y en la corteza terrestre se distinguen siete clases de silicatos minerales importantes, incluyendo la sílice o cuarzo: olivino, granate, piroxeno, anfíbol, mica, feldespato y cuarzo.

Las rocas terrestres tienen diferentes nombres de acuerdo a su origen: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas se han formado por solidificación de una solución de silicatos fundidos llamada magma. Las rocas sedimentarias se han formado en la superficie terrestre a través de complejos procesos físico-químicos, por precipitación de sólidos, cristalización a partir de soluciones o simplemente por acumulación mecánica o cementación de granos individuales. En estos procesos ha intervenido el viento, agua, hielo y algunos seres vivos. Estas rocas se presentan generalmente en estratos o capas. Las rocas metamórficas provienen de formaciones mineralógicas preexistentes que se han transformado en las profundidades de la tierra por acción de altas temperaturas y presiones, y de soluciones químicas de variada naturaleza. Se forman así nuevos minerales y cristales. A menudo estas rocas también forman una aparente estratificación, debida a una separación de minerales en diferentes bandas.

**PRECAUCIONES A OBSERVAR DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN Y CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE**

**!** Es importante que el docente señale a los estudiantes que deben evitar, en todo momento, el contacto con las sustancias utilizadas, tanto sólidos como soluciones. El silicato de sodio es cáustico, el cloruro de aluminio se hidroliza al aire húmedo, formando HCl con generación de bastante calor, produciendo quemaduras y heridas dolorosas; las otras sales también deben ser manipuladas con precaución evitando aspirar el polvo, para lo cual se deberá usar mascarilla.

 Las cantidades de sustancia utilizada para la cristalización serán las mínimas compatibles con la observación del fenómeno de cristalización y, en lo posible, los compuestos formados serán conservados en sus recipientes, tomando las precauciones necesarias para evitar su ruptura. Por este motivo conviene utilizar un envase de vidrio desechable, en el que se eliminarán las etiquetas de origen, se guardará herméticamente cerrado y se rotulará con la leyenda: “no abrir, sustancias químicas dañinas”. Si es preciso eliminarlos, vaciarlos en el desagüe paulatinamente, haciendo correr bastante agua.

**Actividad 7**

**Indagan y experimentan acerca de algunas propiedades relevantes de sólidos iónicos cristalinos y amorfos.**

Ejemplo

Determinan las siguientes propiedades de algunos sólidos cristalinos:

- Punto de fusión
- Solubilidad en solventes polares y apolares
- Conductividad en solución acuosa y en el sólido fundido
- Dureza

Relacionan las propiedades de los sólidos con su estructura.

**Puntos de fusión de los sólidos iónicos y su comparación con los de sólidos moleculares**

Procedimiento

1. Intentan determinar el punto de fusión de dos sólidos iónicos escogidos, usando el procedimiento ya descrito en la Actividad 3. (*Ver indicaciones al docente*).
2. Obtienen conclusiones con respecto al punto de fusión de los sólidos iónicos.
3. Alumnos y alumnas colocan una pequeña cantidad de cristales de alguno de los compuestos iónicos en una cápsula de porcelana (o platillo de greda cocida).

4. Tratan de fundir los cristales por calentamiento directo y prolongado con el mechero Bunsen.
5. Comparan con lo que sucede en el calentamiento de sólidos moleculares como sacarosa (azúcar común) o glucosa, que calientan bajo condiciones similares.
6. Anotan sus observaciones y conclusiones en el cuaderno y dibujan el arreglo experimental utilizado.

Los estudiantes debaten:

- Diferencias entre el comportamiento de ambos tipos de compuestos, iónicos y moleculares, al ser calentados.
- Conclusiones obtenidas de los experimentos anteriores.
- Razones de tipo estructural que explican que los sólidos iónicos tengan puntos de fusión bastante más elevados que los sólidos moleculares.
- Relación de orden-desorden en la estructura de un sólido iónico y rango del punto de fusión.

### **Solubilidad de los compuestos iónicos en solvente polares y apolares**

Previamente realizan algunas experiencias simples.

- Efecto de un campo eléctrico sobre el agua.
  - Abren la llave de agua, dejando escurrir un hilo.
  - Acercan al hilo de agua una peineta u otro objeto plástico que ha sido previa e intensamente frotada contra un tejido de lana o franela.
  - Describen lo que observan y lo dibujan.
- Efecto de un campo magnético sobre el agua.
  - Dejan escurrir un hilo de agua por una cañería.
  - Acercan un imán al agua, pero sin tocarla.
  - Describen sus observaciones.

Los estudiantes indagan e intentan responder:

- Naturaleza eléctrica de las moléculas de agua.
- Razón por la que no se observa interacción entre el imán y el agua.
- Características estructurales de un solvente polar como el agua.
- Comparación de las características estructurales del agua con las de un solvente apolar.
- Fenómeno que ocasiona la aparición de un dipolo eléctrico permanente en una molécula.

Los estudiantes debaten aspectos relacionados a la solubilidad:

- Factores de los cuales depende la solubilidad (temperatura, tipo de solvente, constitución del soluto, presencia de otros solutos).
- Explicación, a nivel molecular, respecto a en qué consiste el fenómeno de disolución de un sólido. (Ver programa de Estudio y Comprensión de la Naturaleza, de 8° Año Básico, para completar el esquema que allí se presenta).

Realizan los siguientes experimentos:

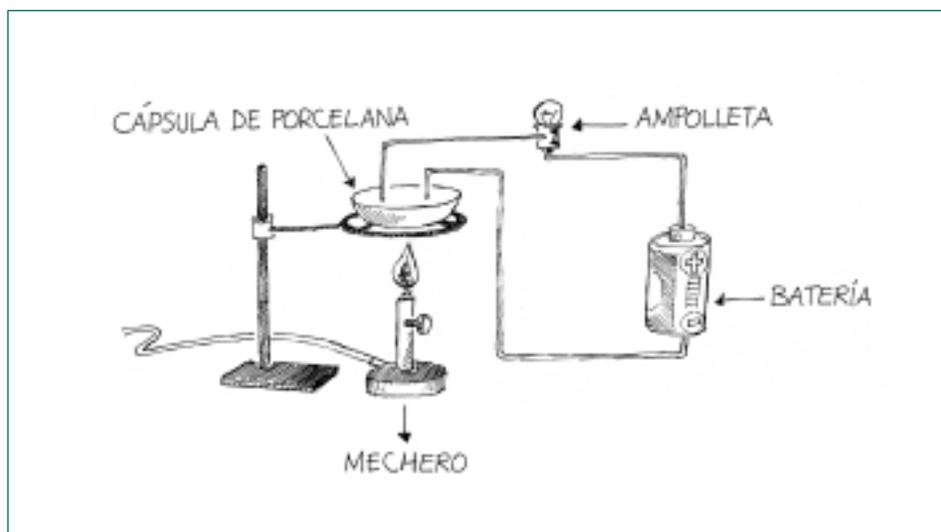
1. Colocan un par de mL de agua desionizada en 3 tubos de ensayo.
2. En otros 3 tubos de ensayo vierten el mismo volumen de un solvente apolar, por ejemplo, aguarrás o parafina.
3. Vacían en cada par de tubos una punta de espátula de dos sólidos iónicos y de uno molecular y prueban su solubilidad.
4. Toman nota de sus observaciones y dibujan el arreglo experimental.

Los estudiantes indagan sobre:

- El comportamiento de cada uno de los sólidos ensayados.
- Explicación de dicho comportamiento.
- Razón por la cual un solvente apolar disuelve bien las grasas o aceites y el agua no.
- Relación estructural que debe existir entre el solvente y el soluto como para que se establezcan interacciones que produzcan la disolución.

Finalmente los estudiantes debaten acerca de la verdad de las siguientes afirmaciones:

- Los compuestos iónicos cristalinos y amorfos son en general solubles en solventes polares y prácticamente insolubles en solventes apolares.
- Si bien algunos sólidos iónicos se disuelven bien en agua, otros son muy poco solubles, aunque en todos los casos son muchísimo más solubles en solventes polares que en solventes apolares.



#### Detección de la conductividad eléctrica en un sólido fundido

1. Se funde el sólido, por ejemplo, acetato de sodio, en una cápsula de porcelana, utilizando para ello un mechero.
2. Se apaga el mechero o se mantiene encendido con una llama pequeña y se introducen los terminales en la masa fundida, según se ilustra en la figura.
3. Se cierra el circuito y se observa lo que ocurre.
4. Anotan sus observaciones en el cuaderno y dibujan el arreglo experimental utilizado.

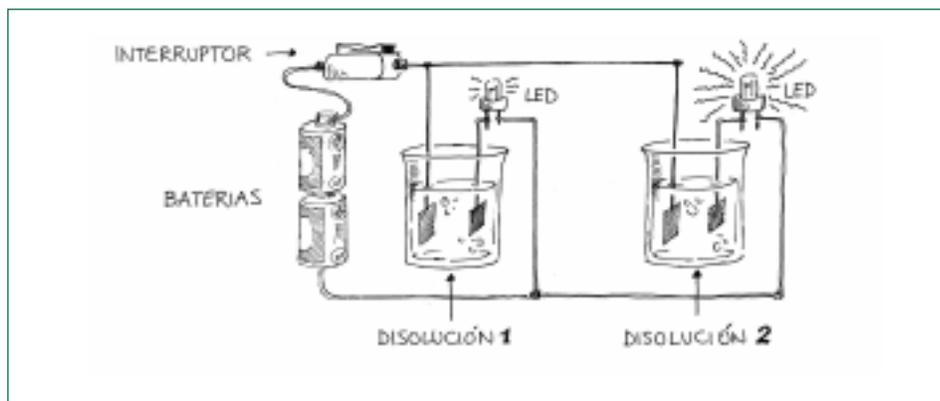
Los estudiantes debaten:

- Acerca de la interpretación de sus observaciones.
- Lo que podrían predecir en relación a la conductividad para el caso de un sólido molecular fundido, por ejemplo, alcanfor.

### Detección de la conductividad eléctrica de la solución de un compuesto iónico

#### Procedimiento

1. Preparan 100 mL de soluciones acuosas de un compuesto iónico, por ejemplo NaCl, a concentraciones 0,001 M y 0,1 M.
2. Vacían las soluciones en dos vasos de precipitados, en un volumen tal que los electrodos queden completamente cubiertos y que el nivel de solución en ambos vasos sea el mismo.
3. Hacen predicciones referidas a cuál solución presentará mayor conductividad.
4. Instalan el dispositivo, según se indica en la figura, conectando dos detectores de conductividad en paralelo a una misma batería. (Se evitan así diferencias de brillo del LED debidas al voltaje).
5. Cierran el circuito, toman nota de sus observaciones en el cuaderno y dibujan cuidadosamente el dispositivo utilizado.



Los estudiantes debaten:

- Sobre la razón por la que se conectaron los detectores en paralelo.
- Con qué objeto el nivel de solución en ambos vasos debe ser el mismo.
- Acaso existe alguna relación entre la concentración de la sal en la solución y la conductividad eléctrica detectada.
- Acerca de la explicación de sus observaciones y si ellas están de acuerdo con sus predicciones.

Los estudiantes realizan las siguientes operaciones:

- Predicen lo que se observará cuando se compara la conductividad de diversos ácidos,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  y  $\text{HCl}$ , o de diversas sales como cloruro de potasio y cloruro de calcio, a una misma concentración molar, por ejemplo, 0,001 M.
- Ensayan algunas de estas soluciones, observan y analizan si las predicciones fueron correctas.
- Interpretan y explican el resultado obtenido en sus observaciones.
- Escriben las ecuaciones que describen la disociación de estos ácidos y sales en solución acuosa.
- Toman nota de sus experimentos y observaciones.

Finalmente, el docente ordena las conclusiones y explica la razón de las diferencias observadas. (*Ver indicaciones al docente*).

### **Dureza de los sólidos iónicos**

Los estudiantes debaten:

- Intentan definir la dureza de un material.
- Predicen la dureza relativa de los siguientes materiales:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (yeso) y  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  y discuten acaso el orden es el correcto.
- Ensayan la dureza, hacen un ordenamiento relativo y luego la comparan con la dada por la escala de dureza de Mohs.
- Acerca de la relación entre la dureza y la estructura de un sólido.

Finalmente, el docente señala que la dureza de un cristal se relaciona con la resistencia que oponen las unidades estructurales del cristal a ser separadas o desplazadas unas respecto de otras.

## INDICACIONES AL DOCENTE

### SELECCIÓN DE LOS SÓLIDOS A UTILIZAR

Es importante que para la experimentación de los estudiantes la profesora o el profesor elija cuidadosamente los sólidos a utilizar, de modo que sean representativos de los modelos tipo. Así por ejemplo, el NaCl, KCl y KF son sólidos que se pueden considerar bastante iónicos, no así, en cambio, sólidos en los que formalmente existirían iones de carga mayor a  $2+$ . De hecho,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  etc., no son compuestos típicamente iónicos y forman redes macromoleculares o covalentes.

Si se imagina un catión de esas características, con carga elevada y pequeño tamaño, es de prever que polarizaría o atraería la carga electrónica de los aniones vecinos originando un enlace predominantemente covalente.

### PUNTOS DE FUSIÓN DE LOS SÓLIDOS IÓNICOS

Es importante destacar que, independientemente del grado de orden, los puntos de fusión de sólidos iónicos son, en general, elevados independientemente que sean cristalinos o amorfos, si bien en este último caso se debe hablar más bien de un punto de ablandamiento.

Para ilustrar esta característica el docente puede remitir a los valores de los puntos de fusión anotados en la tabla de la Actividad 4.

### ALGUNOS ASPECTOS RELACIONADOS CON LA POLARIDAD MOLECULAR

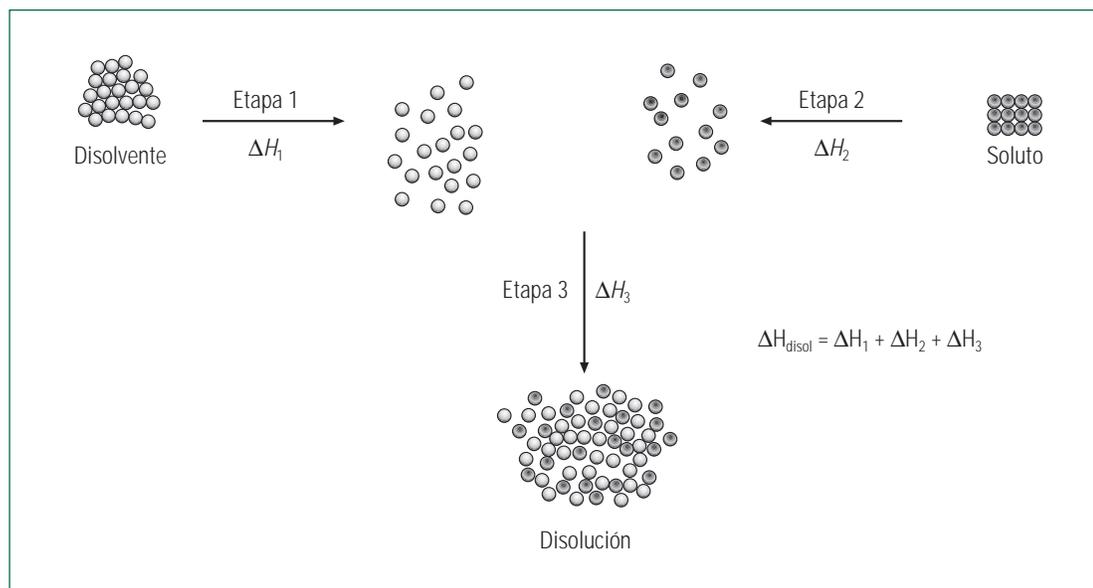
Es importante que el docente verifique que los estudiantes han comprendido que un solvente polar está constituido por moléculas que exhiben dipolos eléctricos, mientras que las moléculas de un solvente apolar prácticamente no presentan separación de carga eléctrica de signos opuestos.

La distinción entre moléculas polares y apolares deberá fundamentarse en que en las primeras los electrones de enlace no están igualmente distribuidos entre los átomos que la forman. Tal es el caso de HCl,  $\text{NH}_3$  o  $\text{H}_2\text{O}$ . El docente puede dar algunos ejemplos de moléculas apolares como  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}_2$ , aclarando que en el  $\text{CO}_2$  existe una polaridad del enlace C-O, pero que ella no se manifiesta debido a que la molécula es lineal y los efectos producidos por ambos enlaces se compensan.

### ASPECTOS TERMODINÁMICOS REFERIDOS A LA SOLUBILIZACIÓN DE UN SÓLIDO

A manera de actualización de conocimientos, es importante que el docente señale que en el proceso de disolución de un cristal las fuerzas intermoleculares que mantienen la cohesión del sólido, responsables del término  $\Delta H$ , tienen como contraparte un término entrópico  $\Delta S$  al que contribuye la energía cinética debida a la agitación térmica de estos sistemas. Esto es de suma importancia, ya que a veces los estudiantes carecen de una visión integrada acerca de las interacciones intermoleculares y suponen que éstas son “mutantes” y que su naturaleza varía en los diferentes estados físicos.

El proceso de solubilización de un sólido deberá ser preferentemente enfocado desde el punto de vista termodinámico, para lo cual puede ser útil el siguiente esquema:



Es importante que el docente señale que hay un gasto de energía (libre) para lograr la separación de las moléculas del solvente y de iones o moléculas (en el caso de un sólido molecular) del soluto, ilustrados en las etapas 1 y 2, respectivamente. En la última etapa (Nº 3) se juntan ambos y se establecen nuevas interacciones (soluto-solvente). El balance energético de todos estos procesos determina si en definitiva el proceso es termodinámicamente favorable ( $\Delta G < 0$ ) o desfavorable ( $\Delta G > 0$ ). En lo que respecta al cambio de entalpía total,  $\Delta H_{\text{disolución}}$ , éste se compone de la suma de los cambios entálpicos de las diferentes etapas.

Es importante señalar que la magnitud de la carga tiene un efecto significativo sobre los puntos de fusión. Así el NaCl funde a 801 °C, pero el CaO, que tiene la misma estructura cristalina y iones de tamaño similar, funde a 2850 °C.

#### ALGUNAS INDICACIONES REFERIDAS A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

##### *Aspectos prácticos de la medición de conductividad*

- Idealmente, los electrodos utilizados deberían ser de platino, cubierto con platino en polvo, con el fin de evitar que se produzca electrólisis. Sin embargo, como este requisito no puede ser satisfecho debido al muy elevado costo de esas celdas, hay que aceptar que ocurrirá algo de electrólisis. Por ello mismo conviene utilizar un voltaje reducido, que en ningún caso deberá ser superior a 3 V.
- Con la misma finalidad anterior, en la medición de la conductividad se utiliza una corriente de alta frecuencia, del orden de 1000 Hz (1Hz = 1 ciclo por segundo). La corriente domiciliaria tiene una frecuencia de sólo 50 Hz.
- También debe considerarse que la conductividad eléctrica de una disolución depende de la temperatura, de modo que se cuidará que todas las soluciones estén a la misma temperatura (ambiente).

- La potencia del LED o, eventualmente, de una pequeña ampollita, deberá ser acorde con el voltaje de las baterías utilizadas. En todo caso es preferible el uso de un LED al de una ampollita, ya que en el primer caso la corriente que circula por el sistema es ínfima.
- Con respecto a la conductividad en masa fundida, las temperaturas de fusión de la mayoría de los sólidos iónicos son muy elevadas, debido a las fuertes atracciones electrostáticas, y son inaccesibles en el laboratorio escolar. Además, resulta normalmente bastante riesgoso para los estudiantes trabajar a altas temperaturas.

El acetato de sodio, debido al componente orgánico que contiene, puede ser fundido con relativa facilidad (p.f. 324 °C) en una cápsula de porcelana, greda u otro material cerámico, calentando con un mechero Bunsen con llama pequeña. En este caso es importante realizar la detección de conductividad en forma relativamente rápida para evitar mayor daño a los electrodos.

Vale la pena que el docente señale que detectar la conductividad en la masa fundida de un sólido molecular es equivalente a ensayar la conductividad de un líquido molecular, por ejemplo, acetato de etilo o acetona. Sin embargo, ello no debe ser realizado con el dispositivo descrito, ya que existe riesgo de inflamación.

#### ASPECTOS TEÓRICOS ACERCA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El tratamiento teórico de la conductividad eléctrica en disolución escapa al nivel escolar, pero es importante que el docente esté en condiciones de responder dudas específicas de los estudiantes.

Los aspectos principales a considerar son los siguientes:

- La resistencia eléctrica  $R$  de una celda al paso de corriente es directamente proporcional a la distancia entre los electrodos,  $l$ , inversamente proporcional a su área,  $A$ , e inversamente proporcional a la conductividad de la solución,  $\kappa$ , según la siguiente relación:

$$R = (1/\kappa) (l/A)$$

Para una celda determinada, entonces, la resistencia eléctrica depende únicamente de la conductividad de la solución,  $\kappa$ .

- De acuerdo a las investigaciones realizadas por Kohlrausch, la conductividad de una solución puede ser comprendida como la resultante de la contribución separada de los diversos iones presentes.

De este modo, para una solución que contiene sólo un tipo de catión y de anión, si  $n_+$  y  $n_-$  es el número de cationes y aniones por  $\text{cm}^3$ ,  $v_+$  y  $v_-$ , sus respectivas velocidades de migración en la solución y sus cargas  $z_+e$  y  $z_-e$ , entonces la densidad de corriente,  $j$  (definida como la corriente que pasa por una sección de  $1 \text{ cm}^2$  de la solución) es:

$$j (\text{A/cm}^2) = n_+ v_+ z_+ e + n_- v_- z_- e$$

En el caso analizado por los estudiantes se podría despreciar la contribución de los iones  $H^+$  y  $OH^-$ , ya que su concentración es muchísimo menor ( $\approx 10^{-7} M$ ), que la de los demás iones debidos a la adición de una sal o de un ácido; ello no obstante que la contribución de los iones  $H^+$  y  $OH^-$  a la conductividad de la solución es entre 4 y 8 veces superior a la de otros iones. Como una aproximación, entonces, se explicarán los efectos observados como resultantes de la presencia de los iones de la sal agregada.

Es importante señalar que los iones, para conducir la corriente, deben moverse en la solución y que su movilidad depende de su tamaño al estado solvatado.

Las diferencias de conductividad deberán ser explicadas en términos de:

- Diferente cantidad de especies en solución (concentración).
- Diferente tipo de especies (electrolitos débiles y fuertes), para una misma concentración de la sal o ácido.
- Diferente carga de los iones: un ion de carga doble de otro es capaz de transportar el doble de corriente (excluyendo, obviamente, efectos que tienen que ver con su diferente movilidad en la solución).

#### **PRECAUCIONES GENERALES Y MEDIDAS DE SEGURIDAD**

**!** Es importante que el docente advierta a alumnos y alumnas que el trabajo con solventes orgánicos polares y, especialmente, apolares, es riesgoso porque por lo general tienen, ya a temperatura ambiente, una apreciable presión de vapor y son muy inflamables. Por ello, mientras se manipulan los solventes se debe evitar la presencia de fuentes de calor en el laboratorio, tales como mecheros, estufas, anafes y ampollitas. Es necesario, además, asegurar una buena ventilación del laboratorio. Como medida elemental de seguridad, se mantendrán en el laboratorio escolar sólo cantidades pequeñas de solventes. Algunos de éstos, como el sulfuro de carbono y el éter dietílico, deben ser absolutamente excluidos por su peligrosidad.

Además, la mayoría de esos solventes son tóxicos por inhalación y pasan a la sangre por absorción a través de la piel, porque la barrera grasa de la piel es disuelta fácilmente por ellos. Lo más prudente es considerar todo solvente orgánico como potencialmente dañino para el ser humano.

El trabajo con sales fundidas debe ser realizado con precaución, evitando situaciones experimentales en las que la cápsula no esté bien estabilizada sobre un triángulo de porcelana u otro soporte apropiado. El docente recordará a alumnas y alumnos que la temperatura del acetato de sodio fundido es mayor que  $300\text{ }^\circ\text{C}$  y que puede ocasionar serias quemaduras.

 Los solventes deberán ser reunidos separadamente en envases y posteriormente, cuando se haya juntado no más de 1 L de uno de ellos, recuperados por destilación.

## Actividad 8

---

**Indagan, experimentan y debaten sobre algunas propiedades de sólidos moleculares y covalentes.**

Ejemplo

Determinan en sólidos moleculares las propiedades:

- puntos de fusión
- solubilidad en solventes polares y apolares
- conductividad eléctrica en el sólido fundido y en solución acuosa, y
- dureza y debaten acerca de la relación de estas propiedades con la estructura de esos sólidos.

Procedimiento

Para realizar esta actividad seleccionan dos sólidos entre los siguientes:

Paracetamol, yodo, hielo, dióxido de carbono ("hielo seco").

### **Determinación del punto de fusión**

1. Determinan el punto de fusión de uno de los sólidos, utilizando el procedimiento ya descrito con el tubo Thiele o con otro aparato.
2. Se informan acerca del punto de fusión de los otros tres sólidos.
3. Tabulan los puntos de fusión y los comparan con los puntos de fusión de cuatro sólidos iónicos.
4. Anotan sus observaciones en el cuaderno y dibujan el aparato utilizado para la determinación del punto de fusión.

Los estudiantes indagan:

- Sobre el origen de las diferencias en los puntos de fusión de sólidos moleculares y iónicos.
- Propiedades particulares que poseen el hielo seco y el yodo, que los diferencian de los sólidos iónicos.

El docente interviene activamente a través de preguntas:

- ¿Cuáles son las entidades químicas que forman un cristal molecular?
- ¿De qué tipo serán las interacciones que se establecen entre dichas entidades cuando se compara con las de un cristal iónico?
- ¿Podrán ser dichas entidades polares o apolares?
- ¿Qué características en común tienen las moléculas de yodo, dióxido de carbono y naftaleno en cuanto a su polaridad?
- ¿A qué se deberá que el punto de fusión del yodo es bastante más elevado que el de los otros halógenos que también están formados por moléculas diatómicas? (*Ver indicaciones al docente*).
- ¿Podrán solidificarse los gases nobles?

Finalmente el docente los guía a discutir la siguiente aseveración:

Los sólidos moleculares tienen puntos de fusión mucho más bajos que los sólidos iónicos; ello independientemente del nivel de orden-desorden que posea el sólido molecular.

### **Determinación de la solubilidad de compuestos moleculares en solvente polares y apolares**

#### Procedimiento

1. Intentan disolver una ínfima porción de hielo, yodo o paracetamol en solventes polares como agua y etanol.
2. Observan y anotan en su cuaderno.
3. Ensayan la solubilidad de los sólidos anteriores en solventes apolares tales como bencina o queroseno (incorrectamente llamada "parafina").
4. Toman nota de sus observaciones.
5. Confeccionan una tabla similar a la siguiente:

	yodo	paracetamol	hielo
agua			
etanol			
bencina			
queroseno			

Los estudiantes debaten:

- Acerca del proceso de solubilización que ha ocurrido en algunos de los casos.
- En qué solventes se solubilizó el yodo y qué tienen en común esos solventes.
- En qué se diferencian los solventes anteriores de los otros en los cuales el yodo no se disolvió.
- Sobre las características comunes del yodo y los solventes que lo disuelven.
- Sobre las conclusiones de tipo general que pueden ser formuladas.

Proceden de manera similar para el caso del paracetamol y del hielo.

#### *Experimento*

1. Colocan unos pocos cristales de yodo en dos tubos de ensayo.
2. Vierten a continuación, en cada uno de ellos, 5 mL de agua.
3. En uno de los tubos agregan 5 mL de un solvente apolar, bencina por ejemplo.
4. Observan lo que ocurre en los tubos a medida que transcurre el tiempo.

Debaten e intentan responder:

- ¿Son miscibles el agua y el solvente apolar?
- ¿Qué sucede con el yodo colocado en cada uno de los tubos?
- ¿Qué explicación dan al fenómeno observado?

El docente señala que un método de separación, denominado extracción por solvente, utiliza la diferente solubilidad de un soluto en dos solventes o en mezclas complejas de varios solventes y que ello es particularmente útil en la minería para la separación de concentrados metálicos.

Los estudiantes:

- Indagan sobre métodos industriales de separación por solventes que sean utilizados en la minería.
- Presentan sus trabajos en forma de poster y los exponen al curso.

Finalmente, el docente guía a los estudiantes en su trabajo y se concluye que:

Los sólidos moleculares polares, cristalinos y amorfos son solubles en solventes polares y los apolares lo son en solventes apolares.

### **Conductividad de disoluciones en solventes polares (agua)**

Procedimiento

- Preparan 100 mL de una solución 0,01 M de paracetamol en agua desionizada.
- Vierten la solución en un vaso de precipitados y lo instalan en el detector de conductividad desconectado.
- Predicen acerca de lo que esperan observar.
- Cierran el circuito y observan.
- Escriben en sus cuadernos las observaciones y dibujan cuidadosamente el arreglo experimental utilizado.

Los estudiantes indagan:

- Si las sustancias moleculares como el paracetamol producen cambio de la conductividad del agua.
- Qué gases disueltos contiene el agua.
- Acaso las moléculas de esos gases son polares o apolares.

El docente señala, como conclusión, que en general las disoluciones de los sólidos moleculares no conducen la corriente eléctrica, aunque sean polares, debido a que no existe carga neta que pueda conducir. (*Ver indicaciones al docente*).

### **Ensayos referidos a la dureza de los sólidos**

Procedimiento

1. Hacen predicciones sobre la dureza de los sólidos moleculares escogidos.
2. Ensayan su dureza comparándola con la de otros sólidos de dureza conocida. (La única condición es que los cristales sean de tamaño suficiente como para ser manipulados).
3. Toman nota de sus observaciones.

Los estudiantes indagan y experimentan:

- La razón por la cual los cristales de yodo se rompen en forma de escamas.
- Intentan relacionar esa propiedad con la estructura cristalina de este elemento. (*Ver indicaciones al docente*).
- Dureza de sólidos covalentes macromoleculares (grafito, mica, cuarzo).
- Otras propiedades de esos sólidos: conductividad y solubilidad en agua.
- Relación de sus hallazgos con la estructura de esos sólidos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

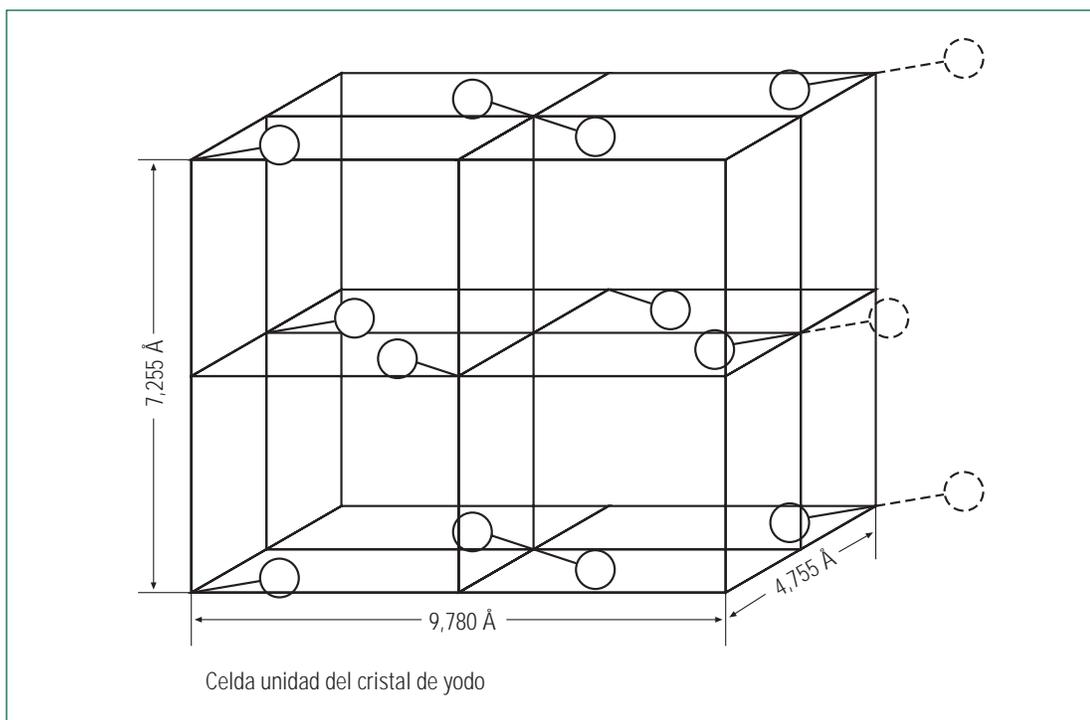
#### **OBSERVACIONES EN RELACIÓN A LOS PUNTOS DE FUSIÓN DE SÓLIDOS MOLECULARES**

El punto de fusión de los sólidos a utilizar se anota en la siguiente tabla, junto al punto de fusión de los demás halógenos:

Sustancia	Punto de fusión/°C
dióxido de carbono	-56,6 (a P=5,28 atm)
agua	0,00
paracetamol	148-9
yodo	113,6
bromo	-8,25
cloro	-101
flúor	-218

Datos obtenidos de Chemiker-Kalender, Springer Verlag, 1974

Es evidente que no tiene sentido determinar el punto de fusión del “hielo seco”, por cuanto es muy bajo y requerirían aplicar presión para lograrlo. Sin embargo, pueden realizar la fusión del hielo. Para ello vierten previamente una pequeña cantidad de agua en un vaso de precipitados, de modo que un termómetro colocado en su interior tendrá sólo el bulbo sumergido en el agua y se ubicará a 1 cm del fondo. El termómetro se pone de modo vertical fijándolo mediante un trozo de poliestireno. El dispositivo anterior se introduce en la hielera y una vez que el agua ha recién solidificado, colocan el vaso a baño maría en un recipiente que esté con agua tibia y determinan la temperatura a la cual el termómetro queda ligeramente suelto en el interior del bloque. (Es importante que no apliquen fuerza sobre el termómetro, ya que pueden romperlo). Agitan suavemente el vaso y miden la temperatura.



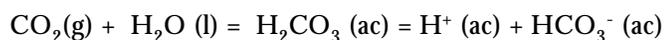
Con respecto al punto de fusión de los halógenos, se observa que al aumentar la masa molecular del halógeno aumenta su punto de fusión. Todos los halógenos forman moléculas diatómicas  $X_2$ , apolares, y las diferencias en el punto de fusión se deben a que al aumentar la masa atómica del halógeno crece también el número de electrones y la facilidad con que la nube electrónica se deforma respondiendo a la acción de cargas vecinas (los electrones y núcleos de otras moléculas).

La propiedad asociada a las interacciones descritas se denomina polarizabilidad molecular,  $\alpha$ , y se relaciona con la facilidad con que la nube electrónica es deformada cuando se aplica un campo eléctrico externo. Mientras mayor es la polarizabilidad, más fuertes son las interacciones intermoleculares de dispersión.

La fusión de los sólidos moleculares puede ser analizada también desde el punto de vista termodinámico, en términos de los cambios de entalpía y de entropía.

#### INDICACIONES REFERIDAS A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En el ensayo de conductividad eléctrica de la disolución de compuestos moleculares se debe cuidar de dejar en claro que, por ejemplo, disoluciones de los gases  $O_2$  y  $N_2$  no conducen la corriente. El dióxido de carbono, sin embargo, se disuelve y establece equilibrios del tipo:



Si bien el aumento de concentración de iones  $H^+$  involucra una disminución de la concentración de iones  $OH^-$ , se han introducido especies “nuevas”  $HCO_3^-$  y  $CO_3^{2-}$ , que contribuyen a la conductividad de la disolución. De manera que la adición de un compuesto molecular, como es el caso del  $CO_2$ , puede también modificar la conductividad del agua, lo que está limitado por su solubilidad (que disminuye al aumentar la temperatura). Se sugiere que ensayen la conductividad de agua destilada saturada con  $CO_2$  y la comparen con la misma recién hervida y enfriada a la misma temperatura que la anterior.

Si el establecimiento cuenta con multímetros (“tester”) se podrá conectar en serie para medir la intensidad de corriente que circula entre los electrodos, complementando así las observaciones visuales del brillo del LED o ampollita.

- Véase las indicaciones bajo el siguiente acápite, precauciones y medidas de seguridad.

#### **PRECAUCIONES Y MEDIDAS DE SEGURIDAD**

Es importante que el docente exprese, clara y explícitamente, las siguientes observaciones antes de iniciar la sesión de experimentación:

- ! • Alumnas y alumnos alérgicos al yodo deben abstenerse de trabajar con este elemento y dentro de lo posible deben realizar sus actividades cuando sus compañeros no estén trabajando con yodo. (Se suelen producir reacciones alérgicas violentas en personas que también muestran reacción cuando consumen mariscos, algas y otros productos marinos).
- Como norma general de precaución el yodo se manipulará sólo con guantes y sus soluciones serán transferidas siempre con gotario o mediante una pipeta.
- Si se realiza la sublimación del yodo ello se hará en un lugar bien ventilado, evitando inhalar los vapores.
- Los estudiantes se abstendrán de introducir los electrodos del detector de conductividad en solventes orgánicos, ya que pueden ser inflamados por el paso de corriente. Tal es el caso, por ejemplo, de la acetona, metanol, etanol, etc.

#### **INDICACIONES CON RESPECTO AL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE**

 En la exposición del trabajo de extracción por solvente es importante que el docente preste atención si los alumnos o alumnas han considerado debidamente aspectos que tienen que ver con el cuidado del medio ambiente. En los últimos años se han presentado múltiples casos de contaminación en sistemas acuáticos con solventes orgánicos y con sustancias utilizadas como extractantes o agentes de flotación en la minería.

## Actividad 9

---

**Indagan acerca de las maneras en que se ordenan los átomos e iones en un cristal y reconocen en ellos las respectivas celdas unidad.**

### Ejemplo

Averiguan cómo se pueden ordenar esferas de igual y de diferente tamaño, analizan los ordenamientos obtenidos e identifican las celdas unidad correspondientes a algunos cristales que simulan la estructura de metales y de cristales iónicos.

### Procedimiento

#### Ejemplo 1

Alumnos y alumnas abordan el estudio de varios sistemas:

1. Observan ordenamientos naturales tales como los pétalos de una flor, las escamas de un pez o las facetas en el ojo compuesto de una mosca.
2. Observan ordenamientos artificiales, por ejemplo, baldosas, papel mural, las sillas de un auditorio, las tejas de madera de una casa o la fruta apilada en un mostrador.
3. Comentan sus hallazgos e indagan sobre otras estructuras ordenadas, objetos o unidades cualesquiera que se repiten periódicamente, ya sea en una, dos o en tres dimensiones.
4. Determinan cuál es la unidad que se repite en cada uno de los ordenamientos.
5. Observan un tablero de ajedrez o de damas y determinan cuál es la unidad de menor tamaño que se repite en ellos.
6. Colocan monedas iguales en cada uno de los cuadrados del tablero anterior y luego sustituyen una de ellas por otra diferente.
7. Determinan cuáles monedas de las restantes deben ser también sustituidas para generar una unidad que se repita bidimensionalmente.
8. Ensayan sustituir dos o tres monedas en diferentes posiciones, y ordenan el resto de las monedas para que existan unidades que se repitan.
9. Dibujan en su cuaderno los ordenamientos que han analizado y anotan sus observaciones y conclusiones.

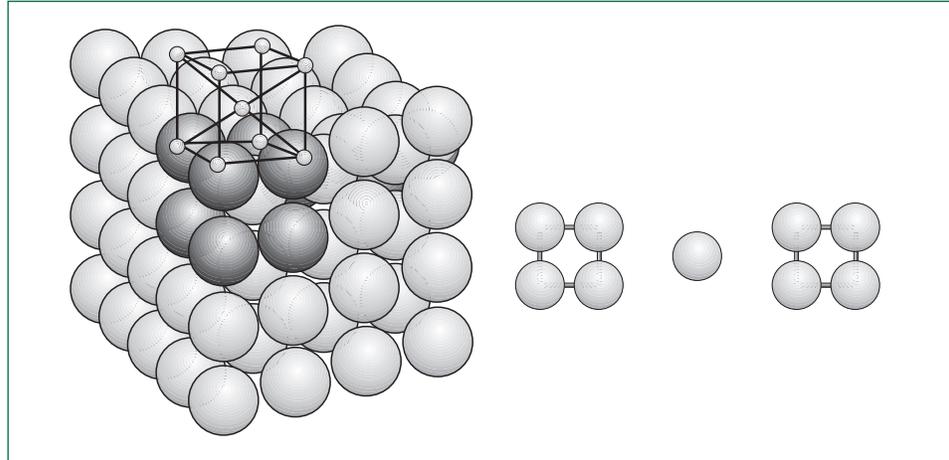
### Ejemplo 2

- Intentan ordenar, sobre una superficie, esferas de poliestireno expandido (plumavit®), simulando un cristal bidimensional y considerando dos modalidades:
  - esferas del mismo tamaño
  - esferas de dos tamaños diferentes
- Observan los empaquetamientos resultantes e identifican en ellos la unidad constitutiva de menor tamaño, a partir de la cual es posible, por repetición, generar toda la extensión del cristal, representada por el empaquetamiento realizado.
- Intentan definir el concepto de celda unidad y, con apoyo del docente, perfeccionan la definición hasta que sea satisfactoria.
- Reproducen la celda unidad para cada uno de los empaquetamientos, utilizando esferas pequeñas y algún medio de conexión, por ejemplo mondadientes.
- Analizan, para cada uno de los empaquetamientos, los huecos que quedan entre las esferas, que permitiría encajar otras esferas en ellos haciendo el papel de átomos o iones.
- Analizan cuidadosamente la importancia de la relación de radio de las esferas para producir un empaquetamiento determinado.

### Ejemplo 3

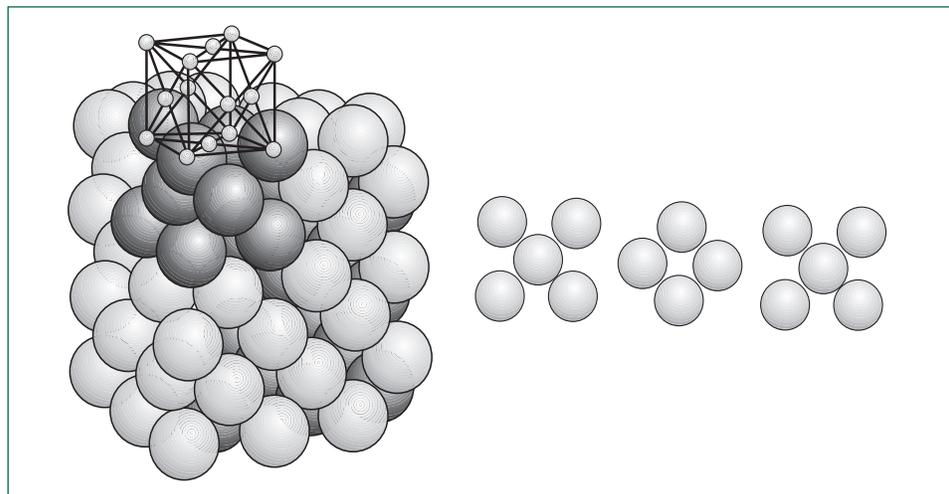
- Empaquetan esferas de poliestireno del mismo tamaño y construyen empaquetamientos de los siguientes tipos:
  - a. cúbico centrado en el cuerpo
  - b. cúbico compacto (o cúbico centrado en las caras)
  - c. hexagonal compacto.
- Con esferas más pequeñas unidas por mondadientes reproducen la celda unidad, de manera de establecer claramente la forma de su estructura.
- Dibujan en su cuaderno los diferentes empaquetamientos y los caracterizan, distinguiéndolos por los rasgos que consideren típicos de ellos.

## a. Empaquetamiento cúbico centrado en el cuerpo



- Indagan acerca de algunos metales que cristalizan en esta estructura.  
(Entre ellos se hallan Li, Na, K, Rb, Cs y algunos metales de transición, por ejemplo, V, Nb, Cr, Mo y Fe).

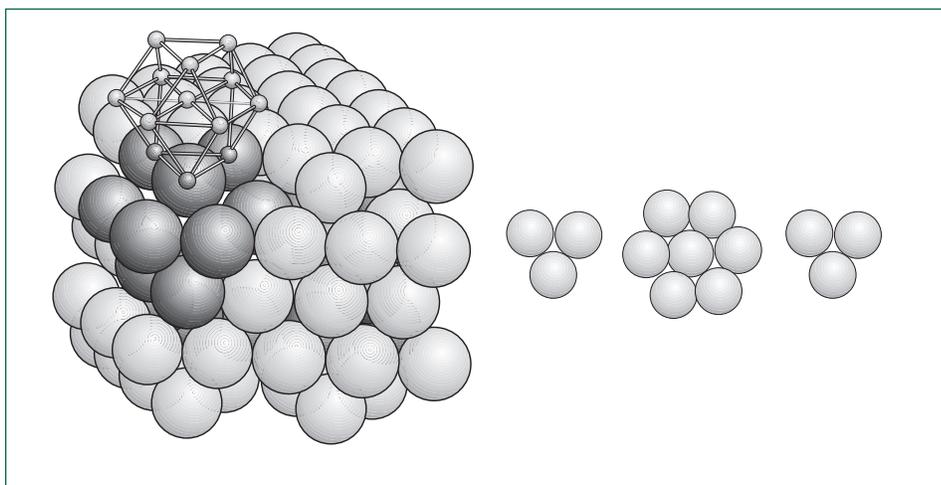
## b. Empaquetamiento cúbico centrado en las caras



- Empaquetan esferas de igual tamaño para obtener un empaquetamiento cúbico centrado en las caras (llamado también empaquetamiento cúbico compacto).

- Observan la estructura del empaquetamiento y deducen la forma de la celda unidad, que reproducen con ayuda de esferas más pequeñas y de mondadientes, según se aprecia en la figura anterior y establecen con más claridad su forma geométrica.

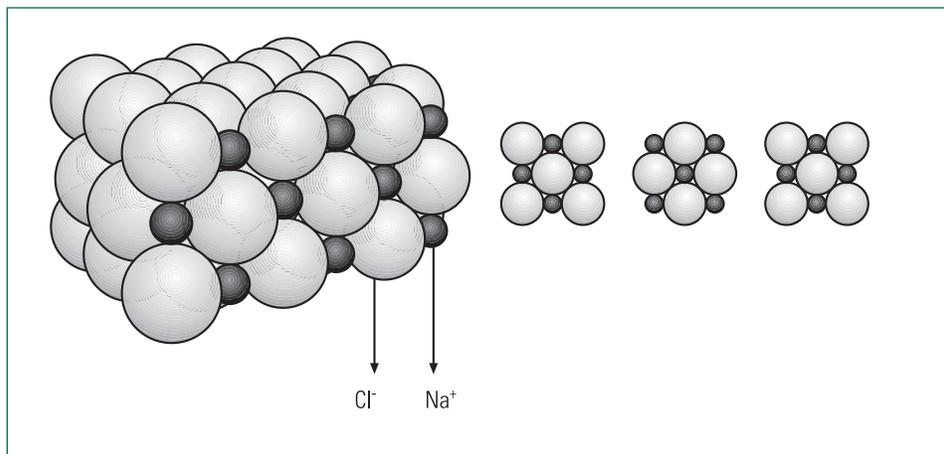
c. Empaquetamiento hexagonal compacto



- Con la ayuda de las figuras anteriores ordenan las esferas para obtener un empaquetamiento hexagonal compacto.
- Observan la geometría del arreglo resultante y deducen la celda unidad. A semejanza de los casos anteriores, utilizan esferas más pequeñas y mondadientes para reproducir la celda unidad, analizando así en más detalle la estructura de ésta.
- Indagan sobre los metales que cristalizan en esta estructura, entre los que se encuentran Mg, Be y Ca (grupo 2) y Ti y Hf (grupo 4).
- Comparan los diferentes empaquetamientos obtenidos y discuten acerca del número de átomos que se hallan en la celda unidad de cada uno de ellos. Intercambian ideas con el docente acerca de los factores que determinan la densidad de sólidos.

**Ejemplo 4**

1. Construyen un modelo de la estructura cristalina iónica del NaCl.
2. Guiándose por las figuras que aparecen a continuación, colocan las tres capas, una sobre otra, para formar el modelo del cristal iónico  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ .

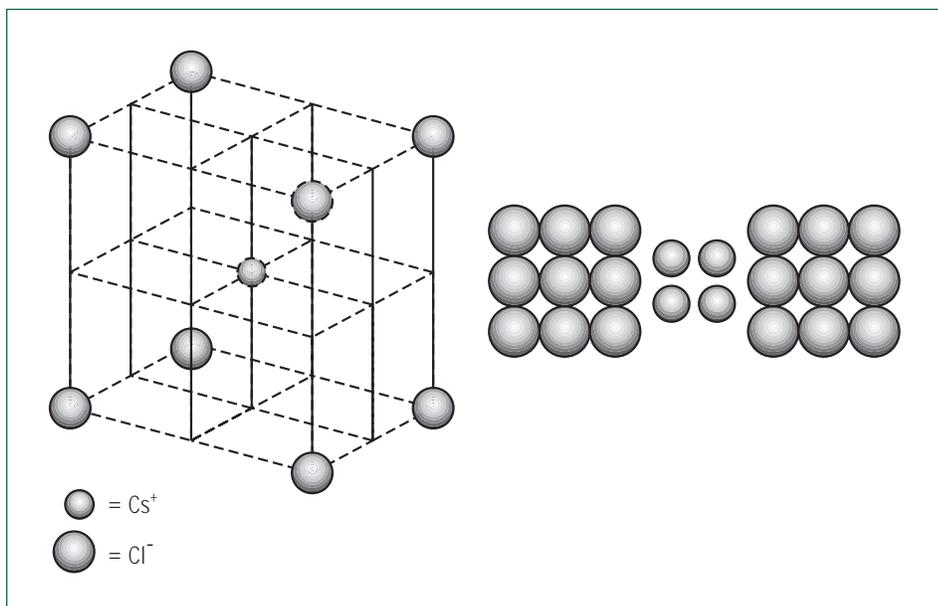


3. Observan el empaquetamiento de los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , exclusivamente.
4. Identifican la celda unidad, notando que corresponde a un empaquetamiento cúbico centrado en las caras.
5. Deducen la importancia de la relación de los radios para generar un determinado arreglo cristalino.
6. Dibujan en su cuaderno una proyección de una cara del cristal e identifican los iones representados en el dibujo.

**Ejemplo 5**

1. Construyen un modelo para la estructura cristalina del cloruro de cesio, CsCl.
2. Observan que ahora, a diferencia del modelo para el NaCl, las esferas más pequeñas no caben en los espacios que quedan entre las más grandes.
3. Con ayuda de las figuras que se muestran a continuación, superponen los tres conjuntos de esferas de la primera figura, ubicando las 4 esferas pequeñas en las cuatro cavidades que dejan las 9 esferas más grandes.

4. Luego colocan las 9 esferas grandes restantes sobre las 9 esferas del mismo tipo de la primera capa.
5. Identifican la celda unidad, notando que corresponde a un empaquetamiento cúbico centrado en el cuerpo.



Comparan las estructuras obtenidas para los dos cristales iónicos, NaCl y CsCl, y analizan la importancia de la relación de tamaño de los iones para la generación de una u otra estructura.

Finalmente, alumnas y alumnos debaten sobre lo siguiente:

- Características de los cristales iónicos.
- Tipo de fuerzas que predominantemente mantienen cohesionado un cristal iónico.
- Ejemplos de cristales iónicos que conocen.
- Cómo explican que en dichos cristales coexistan iones de la misma carga, los que en consecuencia se repelen entre sí.
- Razón por la que un cristal iónico no es dúctil ni maleable, mientras que el cristal de un metal normalmente lo es.

## INDICACIONES AL DOCENTE

### INDICACIONES METODOLÓGICAS Y OBSERVACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

Es importante que el docente analice, en conjunto con los estudiantes, el concepto de modelo como una representación macroscópica que es útil para comprender la estructura de la materia. Conviene que se examinen las limitaciones de un modelo, que en definitiva es una idealización, pero que los alumnos y alumnas reconozcan su ventaja para la representación de las estructuras cristalinas.

La representación de los cristales mediante un modelo, la visualización de las celdas unitarias y el dibujo de las diferentes estructuras son ejercicios que desarrollan en los estudiantes facultades de abstracción, creatividad e imaginación. Esto no sólo es deseable desde el punto de vista de la ciencia, sino que especialmente para el desarrollo armónico de las facultades intelectuales de alumnas y alumnos.

No parece necesario ni conveniente agotar la actividad haciendo que todos los estudiantes construyan cada uno de los modelos. Puede ser suficiente que cada grupo pequeño (de 2 alumnos o alumnas) arme un modelo de empaquetamiento de un metal de elección (Fe, Cu, Pb, Au, etc.) y un modelo para uno de los sólidos iónicos, NaCl o CsCl. Aquí el docente organizará la tarea, procurando siempre que alumnas y alumnos se sientan incentivados con la actividad que están realizando. Es importante que, después de armar los modelos, los dibujen o los reproduzcan con ayuda de un programa apropiado en el computador y, eventualmente, que los fotografíen mostrando sus principales rasgos.

Para armar los modelos puede usarse ventajosamente una matriz rectangular de bordes bajos (cajas de zapatos, bandejas plásticas, etc.) para así mantener juntas las esferas mientras se arma el modelo.

El poliestireno debe ser pegado con un adhesivo especial, que también se puede preparar disolviendo trozos de desecho de poliestireno en un solvente orgánico (acetona, bencina, etc.) hasta que se forme un líquido muy viscoso. Estos pegamentos deben ser usados en cantidades mínimas, ya que disuelven algo el poliestireno, que debido a la baja densidad en las esferas, se disuelve en volúmenes apreciables con extraordinaria rapidez.

Para la construcción del modelo de NaCl es importante considerar que como los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  tienen diámetros de 1,90 y 3,62 Å, respectivamente, se pueden usar esferas con una relación de tamaño 1:2.

En el caso del modelo de CsCl, los diámetros de los iones  $\text{Cs}^+$  y  $\text{Cl}^-$  son respectivamente 3,38 y 3,62 Å, de modo que pueden ser usadas esferas con una relación de tamaños 1,5:2,0.

Es importante que alumnos y alumnas aprendan algo de química descriptiva, por ejemplo, que casi todos los haluros de metales alcalinos cristalizan en la estructura del NaCl, con excepción de CsCl, CsBr y CsI, y que la estructura del NaCl es común a una amplia variedad de óxidos y sulfuros de metales alcalinos térreos, entre otros. Ejemplo de ello son sólidos como MgO, MgS, CaO, CaS, SrO, SrS, BaO, BaS, MnO, FeO, PbS, etc.

### ENERGÍA RETICULAR O ELECTROSTÁTICA DE UN SÓLIDO IÓNICO

En general el cálculo de la energía reticular de un cristal iónico involucra dificultades para estudiantes de este nivel. Sin embargo, puede ser provechoso que los estudiantes se confronten, con algún detalle, con el problema de determinar la energía electrostática de un arreglo simple de iones, por ejemplo, el llamado “cristal monodimensional” que no obstante ser una idealización provee los conceptos básicos que son aplicables a cualquier cristal iónico real.

**PRECAUCIONES A OBSERVAR DURANTE EL TRABAJO**

**!** Se debe tener especial precaución con el poliestireno y con los adhesivos basados en éste, porque son muy inflamables. Debido a ello y a la toxicidad de los solventes orgánicos, se debe cuidar de mantener los frascos de pegamento bien cerrados y abrirlos sólo para sacar el pegamento.

Es indispensable mantener apagada toda fuente de calor (mecheros, estufas, ampollitas encendidas, anafes, etc.) y asegurar una buena ventilación del laboratorio.



## Unidad 1

### **Parte 2: Relación de la química con la física: el estado sólido**

#### **Contenidos**

- Sólidos no estequiométricos y dopaje.
- Materiales derivados de silicio. Chips y celdas solares.
- Fallas y defectos cristalinos en relación a la catálisis y fotocatalisis.
- Aisladores, conductores y semiconductores.
- Materiales cerámicos: superconductores.
- Aplicaciones mecánicas y eléctricas.
- Nanotecnología en superficies sólidas y sus proyecciones.

### Aprendizajes esperados

Los alumnos y alumnas:

- Relacionan las propiedades conductoras, semiconductoras o aisladoras de un sólido con su estructura electrónica.
- Conocen acerca de fallas o defectos cristalinos.
- Manejan el concepto de no estequiometría y lo asocian con materiales al estado sólido.
- Comprenden, de manera elemental, el funcionamiento de una celda solar.
- Identifican la propiedad de superconductividad y su impacto científico y tecnológico.

## Actividad 1

---

**Conocen sobre fallas o defectos cristalinos e intentan visualizar aplicaciones que se derivan de ellos. Indagan acerca de modelos que permiten comprender la catálisis heterogénea.**

### Ejemplo

Indagan, a partir de modelos, cómo se producen y modifican fallas cristalinas y las consecuencias prácticas que se derivan de ellas.

Aplican modelos para comprender el modo de acción de catalizadores heterogéneos y por qué materiales tales como las zeolitas sirven de soporte para los catalizadores.

### Procedimiento

#### Experimento

- 1 Ordenan latas vacías del mismo tamaño (bebidas gaseosas, latas de conserva de diverso tipo, etc.) y las apilan colocándolas unas encima de otras formando un empaquetamiento hexagonal compacto.
2. Observan el ordenamiento resultante y lo dibujan.
3. Sustituyen, en la 2ª y 3ª hilera, dos o tres latas por otras de mayor tamaño e intentan restaurar la pila en su ordenamiento original.
4. Observan el ordenamiento modificado, lo dibujan en su cuaderno y lo comparan con el ordenamiento anteriormente obtenido.
5. Imaginan que realizan el experimento con un sólido cristalino en el que reemplazan un átomo por otro de tamaño ligeramente mayor.
6. Predicen qué tipo de cambios esperarían lograr en el sólido al modificar su estructura.

Los estudiantes indagan para responder a lo siguiente:

- Si la deformación observada en el modelo tendrá alguna consecuencia sobre las propiedades del cristal.
- Qué propiedades serán las más afectadas (resistencia mecánica y conductividad eléctrica).
- Qué propiedades serán escasamente afectadas (punto de fusión y solubilidad).

- Acaso se espera que se produzcan cortes regulares, con exposición de caras planas y lisas, cuando el cristal deformado es fracturado.
- Tipo de superficie de las caras expuestas en una ruptura, cuando se compara el empaquetamiento regular con el modificado.
- Acaso se generan en la superficie expuesta huecos intersticiales cuando se rompe la regularidad del empaquetamiento.
- En caso de ser positiva la respuesta anterior, si esos huecos intersticiales serían más efectivos para capturar átomos que se aproximan a la superficie del sólido.
- Si parece favorable para una reacción química que átomos o moléculas sean adsorbidas en la superficie de un sólido.

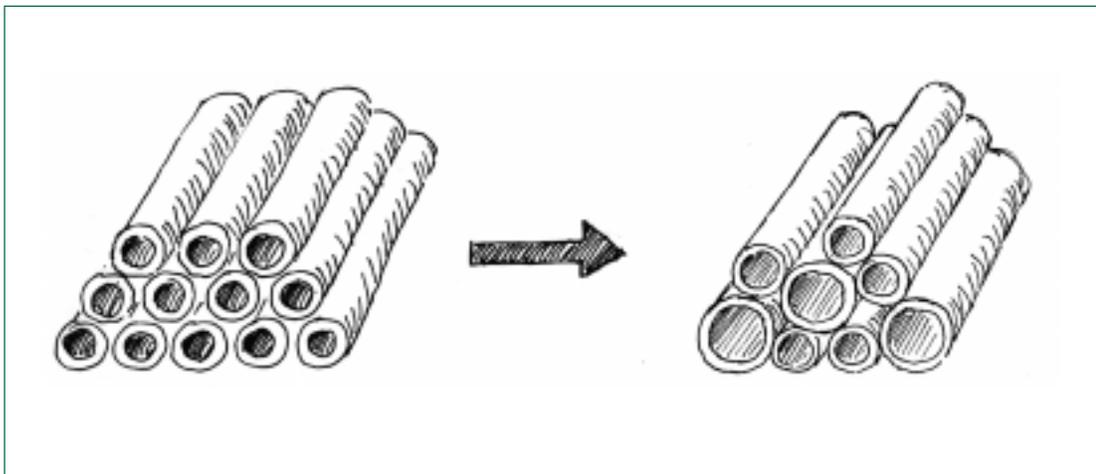
Alumnas y alumnos indagan:

- Función, a nivel microscópico, de los catalizadores utilizados en el tubo de escape de los vehículos con motores de combustión.
- Tipos de catalizadores usados para el "cracking" del petróleo.
- Catalizadores utilizados en la hidrogenación de dobles enlaces.
- Catalizadores usados para la obtención de amoníaco a partir del nitrógeno atmosférico.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

#### **ALGUNAS INDICACIONES REFERIDAS AL EMPAQUETAMIENTO DE UNIDADES EN UN SÓLIDO**

Los ordenamientos realizados por los estudiantes tendrán un aspecto similar al siguiente:



Para realizar el experimento descrito se pueden utilizar también monedas, formando un arreglo bidimensional.

Es importante que alumnas y alumnos ensayen introducir unidades de diferente tamaño relativo, para que aprecien las diferencias que pueden surgir en los ordenamientos obtenidos.

#### **OBSERVACIONES EN RELACIÓN A LA CATÁLISIS HETEROGÉNEA Y CONVERTIDORES CATALÍTICOS**

La indagación de los estudiantes deberá estar orientada a que comprendan nociones básicas sobre la catálisis heterogénea, en la que moléculas gaseosas se adsorben sobre la superficie de un catalizador sólido, facilitando su reacción.

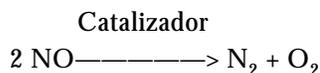
Es importante que el docente estimule a los estudiantes a recordar lo aprendido en relación a las barreras de energía libre para una reacción, o energía libre de activación, y que comprendan claramente que un catalizador provee una vía alternativa para la reacción que disminuye dicha barrera, pero se está hablando de un proceso que transcurre con un diferente mecanismo, si bien los reactantes y productos no han variado.

El profesor o profesora querrá hacer notar que catalizadores heterogéneos de gran importancia son los utilizados para la hidrogenación de dobles enlaces. Así es como el típico olor a pescado del respectivo aceite se debe a la presencia de dobles enlaces. Cuando el aceite es hidrogenado puede ser utilizado para consumo humano. Por otra parte, las margarinas corresponden también a aceites hidrogenados.

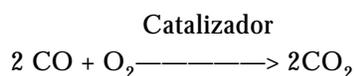
Respecto a lo anterior es importante resaltar que los aceites insaturados son ventajosos para el consumo humano con respecto a los aceites saturados. Estos inciden en la elevación de los niveles de colesterol sanguíneo y en una desfavorable relación entre los llamados “colesterol bueno” (HDL) y “colesterol malo” (LDL).

(En realidad, el colesterol es insoluble en el plasma sanguíneo y debe unirse a algunas proteínas para ser transportado. Las lipoproteínas de alta densidad, HDL, llevan parte del colesterol no utilizado al hígado, donde es degradado a ácidos biliares y excretado. Por el contrario, el colesterol que se liga a las lipoproteínas de baja densidad, LDL, participa primariamente en la formación de depósitos ateroscleróticos en las arterias, por lo que un valor relativamente elevado de aquél se considera dañino).

Los convertidores catalíticos de los automóviles están destinados a rebajar significativamente los niveles de CO y NO producidos en la combustión. En el caso del NO la adsorción de esta molécula sobre la superficie del catalizador desprende una energía que es suficiente para producir la ruptura del enlace N-O, y los átomos pueden moverse sobre la superficie hasta encontrar otros formando así O<sub>2</sub> o N<sub>2</sub>, según sea el caso.



El CO forma, en presencia de oxígeno, CO<sub>2</sub>, sobre la superficie de otro catalizador que se encuentra en una de las secciones del convertidor catalítico,



### **LAS ZEOLITAS COMO SOPORTES DE DIVERSOS CATALIZADORES**

Las zeolitas son silicatos que han adquirido enorme importancia tecnológica. Ellas son obtenidas en forma sintética con diferentes rasgos estructurales a los que se asocian propiedades específicas. Se conocen actualmente más de 600 tipos de zeolitas sintéticas.

En las zeolitas los tetraedros  $\text{SiO}_4$  se unen de diferentes formas y dejan huecos y canales en su estructura y en los que pueden ser incluidos compuestos que sean la especie activa del catalizador.

Un ejemplo interesante para los estudiantes es que la compañía Mobil inventó un proceso para convertir gasolina en metanol,  $\text{CH}_3\text{OH}$ , usando una zeolita artificial modificada de  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , denominado catalizador “ZSM-5”. En dicha zeolita los iones  $\text{Al}^{3+}$  sustituyen a algunos de  $\text{Si}^{4+}$  dejando una carga (-) en exceso, debido a los iones  $\text{O}^{2-}$  vecinos. Dicha carga debe ser compensada por otra carga (+), la que generalmente proviene del agua en forma de un protón hidratado,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , así que dicho sitio es fuertemente ácido y proporciona iones  $\text{H}^+$  que ayudan a oxidar a los materiales que participan en la reacción catalizada.

## **Actividad 2**

**Caracterizan sólidos metálicos e indagan cómo un modelo explica sus propiedades eléctricas.**

### **Ejemplo**

Los estudiantes experimentan con algunos metales y construyen un modelo simple para dar cuenta de sus propiedades conductoras, en contraposición a materiales semiconductores y aisladores.

### **Procedimiento**

#### **Ejemplo 1**

1. Los estudiantes evalúan a través de sus sentidos las características de trozos de diferentes metales: alambre o láminas de cobre, hierro, aluminio y trozos de plomo y de sus aleaciones con estaño (soldadura).
2. Realizan algunos ensayos simples: golpean el metal con un martillo contra una chapa de hierro e intentan cortarlo con un cincel, atendiendo al control de las condiciones (impulso, peso del martillo, altura del golpe, etc.) de modo que estos ensayos puedan ser reproducidos por otros observadores.
3. Anotan en sus cuadernos sus observaciones referidas al aspecto (brillo y color) y a las propiedades mecánicas de estos metales (dureza, ductibilidad, maleabilidad). Describen los ensayos realizados en 2.

Los estudiantes debaten:

- Respecto de la maleabilidad de los metales.
- Una clasificación de los metales en cuanto a su dureza.
- Forma en que cada grupo controló el experimento para que los golpes con el martillo fuesen de semejante potencia.

### **Ejemplo 2**

1. Cada grupo de estudiantes recibe barras de hierro, cobre y aluminio de diámetros similares y de una longitud aproximada de 25 cm.
2. Ubican la barra sobre un soporte aislante (cerámico, ladrillo, o greda).
3. Calientan 3-4 cm de un extremo con un mechero y miden el tiempo que tarda en sentirse en el otro extremo un leve aumento de la temperatura.
4. Mediante un multímetro ("tester") miden la resistencia eléctrica de los diferentes metales a temperatura ambiente.
5. Toman nota de sus observaciones en sus cuadernos y dibujan el dispositivo experimental usado.

Los estudiantes debaten:

- Acerca de qué metal conduce mejor la electricidad.
- Si la conductividad eléctrica de los metales varía con la temperatura de manera similar a como lo hace la conductividad térmica.

Los estudiantes indagan:

- Razón por la que los metales son tan buenos conductores del calor y de la electricidad.
- Motivo por el cual el aspecto de los metales recién pulidos es brillante.
- Por qué los metales se puedan doblar o deformar mediante golpes, en tanto que los cristales iónicos no poseen esa propiedad.
- A qué se debe que moldes de metal en variadas geometrías mantengan su forma por mucho tiempo.
- Propiedades estructurales de los metales que permiten que sean trabajados en formas pequeñas y finas por los orfebres y joyeros .

### Ejemplo 3

1. Construyen, apoyados por el docente, un modelo que les permita comprender la llamada teoría de bandas, que explica el enlace metálico y las propiedades mecánicas, ópticas y eléctricas que presentan los sólidos metálicos.
2. Usan una caja de cartón baja (por ejemplo, la tapa de una caja de zapatos), le hacen varias perforaciones en las cuales introducen dedales plásticos o tubos cónicos cerrados en su parte inferior.
3. Llenan dichos recipientes con pequeños rodamientos.
4. Ensayan, moviendo la caja haciéndola oscilar horizontalmente.
5. Toman nota de sus observaciones y dibujan el dispositivo utilizado para realizar el ensayo.
6. Ensayan aumentar la frecuencia de las oscilaciones y anotan lo que observan.

El docente apoya a los estudiantes para que interpreten el modelo. (*Ver indicaciones al docente*).

Los estudiantes debaten y aportan ideas para explicar, a base del modelo anterior, las siguientes propiedades físicas de los metales:

- Buena conducción de la electricidad y del calor
- Aspecto brillante de sus superficies
- Maleabilidad y ductibilidad

### Ejemplo 4

1. Los estudiantes colocan rodamientos en los recipientes del modelo hasta sólo 3/4 partes de su altura y mueven la caja lateralmente.
2. Observan lo que sucede y toman nota de sus observaciones.

Los estudiantes indagan:

- Si deben aplicar la misma energía que antes a las oscilaciones para que los rodamientos rueden sobre la superficie de la caja.
- Qué podría simular este arreglo experimental.

Finalmente el docente apoya a los estudiantes en sus indagaciones y explica que han simulado un semiconductor. (*Ver indicaciones al docente*).

### Ejemplo 5

1. Alumnas y alumnos colocan rodamientos en los pequeños recipientes de modo que sólo ocupen 1/4 de su altura.
2. Mueven la caja con aproximadamente la misma energía que en los experimentos precedentes.
3. Anotan sus observaciones e intentan interpretarlas.

Los estudiantes debaten:

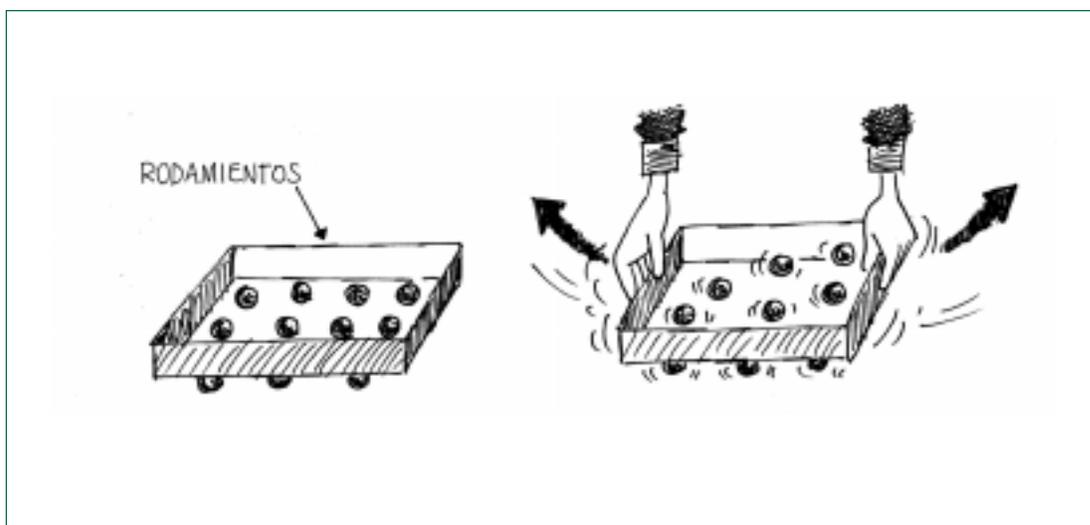
- A qué tipo de sólido podría corresponder el modelo aplicado.
- Cuál es la principal diferencia que tiene este modelo con los precedentes, en cuanto al resultado obtenido.

De ser necesario, el docente guía a los estudiantes para que lleguen a inferir que la última situación corresponde a la de un aislador: éste no conduce la electricidad ni el calor.

### INDICACIONES AL DOCENTE

#### **INTERPRETACIÓN DEL MODELO UTILIZADO EN RELACIÓN A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS METALES**

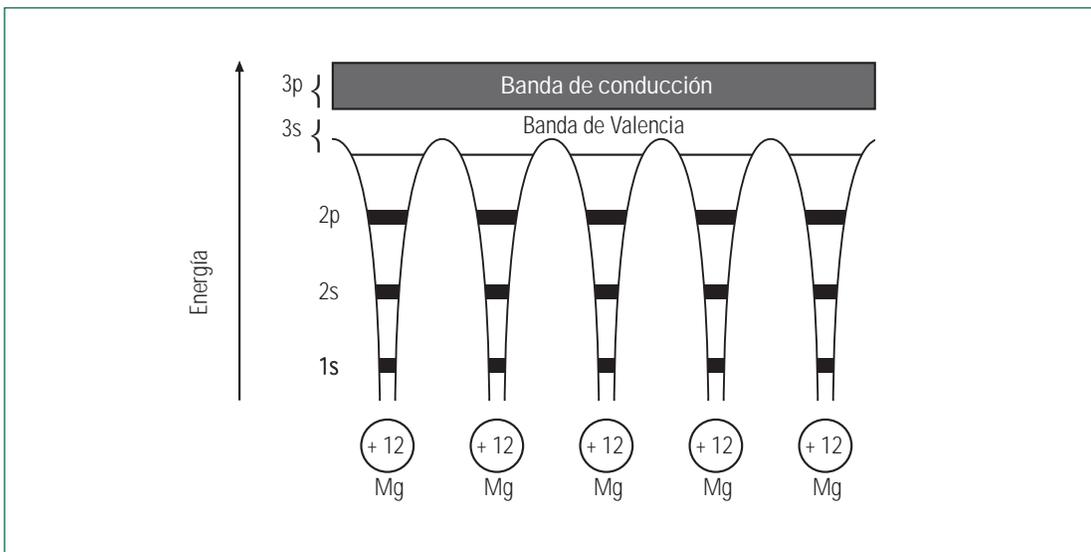
El modelo usado por los estudiantes tiene la siguiente disposición:



Es importante que el docente señale que el desplazamiento de los rodamientos sobre la superficie se asemeja al movimiento de electrones en la banda de conducción de un conductor metálico.

Cuando las oscilaciones que se imprimen a la bandeja son enérgicas y rápidas, los rodamientos se agitan muy intensamente y ello se asemeja al movimiento (browniano) de los electrones en un metal, lo que afecta su conductividad eléctrica, que disminuye al aumentar la agitación térmica producida por un incremento de la temperatura. Ello puede ser visualizado por los estudiantes como un gas de electrones.

La siguiente figura ilustra en qué consiste la formación de bandas de conducción en un metal, en este caso el magnesio.



Los electrones de los orbitales 1s, 2s y 2p se localizan en torno a cada átomo de Mg; pero los orbitales 3s y 3p se recubren o interaccionan entre sí formando orbitales mucho más extensos que abarcan todo el cristal: estos son orbitales moleculares y son esencialmente deslocalizados, es decir, los electrones pueden “viajar” a través del metal. Ello explica su conductividad eléctrica.

De acuerdo con la teoría de bandas del enlace metálico, las bandas llenas o bandas de valencia se encuentran contiguas o se recubren con las bandas vacías de conducción, por donde se pueden desplazar los electrones para permitir la conducción eléctrica.

Es importante que, de acuerdo a los medios con que disponga el establecimiento, la profesora o el profesor exhiba a los estudiantes otros metales como sodio, cinc (planchas o granallas), plata, oro, níquel (monedas, alambres), antimonio, estaño (soldaduras), etc., cuidando de advertir a los alumnos y alumnas que algunos de esos metales no son puros y que normalmente se comercializan sólo en forma de aleaciones. Tal es el caso de las soldaduras que contienen cantidades variables de Sn, Pb y Ag.

### CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS METALES

La conducción del calor se explica porque los electrones que se ubican en orbitales o niveles bajos de la banda de conducción se excitan, absorbiendo energía en forma de calor. Cuando los electrones vuelven a sus niveles de energía originales emiten el exceso de energía en forma de calor.

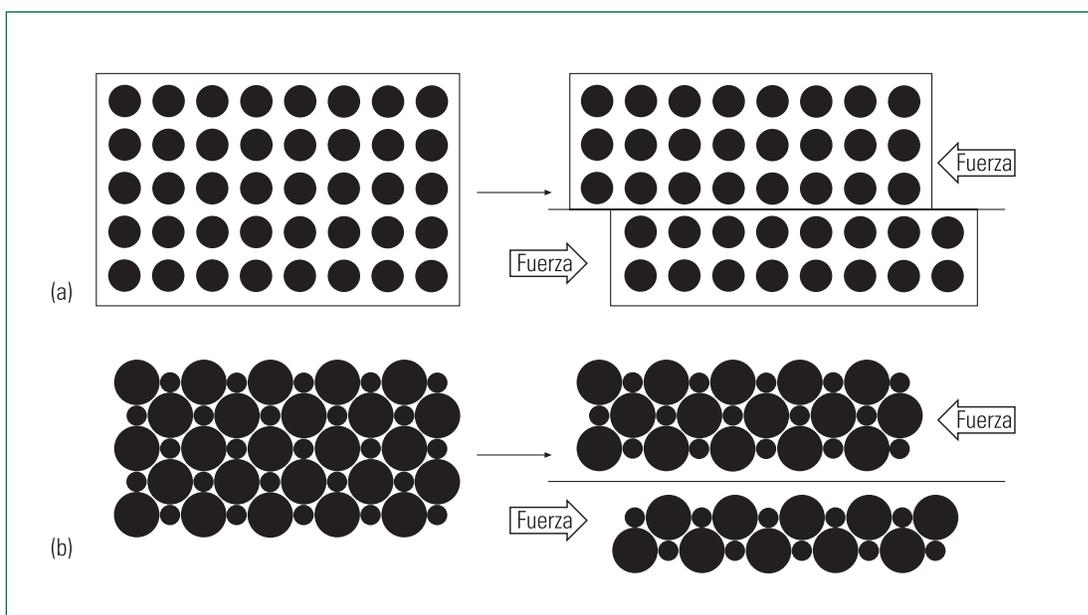
En el experimento de conducción térmica de los metales es importante que la profesora o profesor advierta a los estudiantes que sólo se trata de detectar un alza sensible de la temperatura y no de resistir ésta, ya que la temperatura del metal aumenta con relativa rapidez y podrían producirse quemaduras.

Para mayor objetividad de la medición anterior puede colocarse en un extremo un material de bajo punto de fusión o una marca con pintura termocrómica como la que se utiliza en ciertos documentos bancarios, principalmente en formularios de cheque.

### PROPIEDADES MECÁNICAS Y ASPECTO DE LOS METALES

Los modelos permitirán al docente explicar algunas características de los sólidos metálicos y es así como el corte de un metal supone un desplazamiento de un grupo de átomos, que se desliza sobre otros. Ello se puede interpretar como un movimiento de iones positivos inmersos en un mar de electrones. Dicho desplazamiento vuelve a reproducir la situación original con respecto a los enlaces existentes entre los átomos del metal ya que se restauran las fuerzas de unión. Esto se muestra en la parte a) de la figura siguiente. Esta situación explica también la ductibilidad y maleabilidad de los metales, ya que al romperse los enlaces se forman otros nuevos con los iones metálicos adyacentes, manteniéndose intactas las características de la red, puesto que el entorno de los iones es el mismo que antes que se realice la deformación.

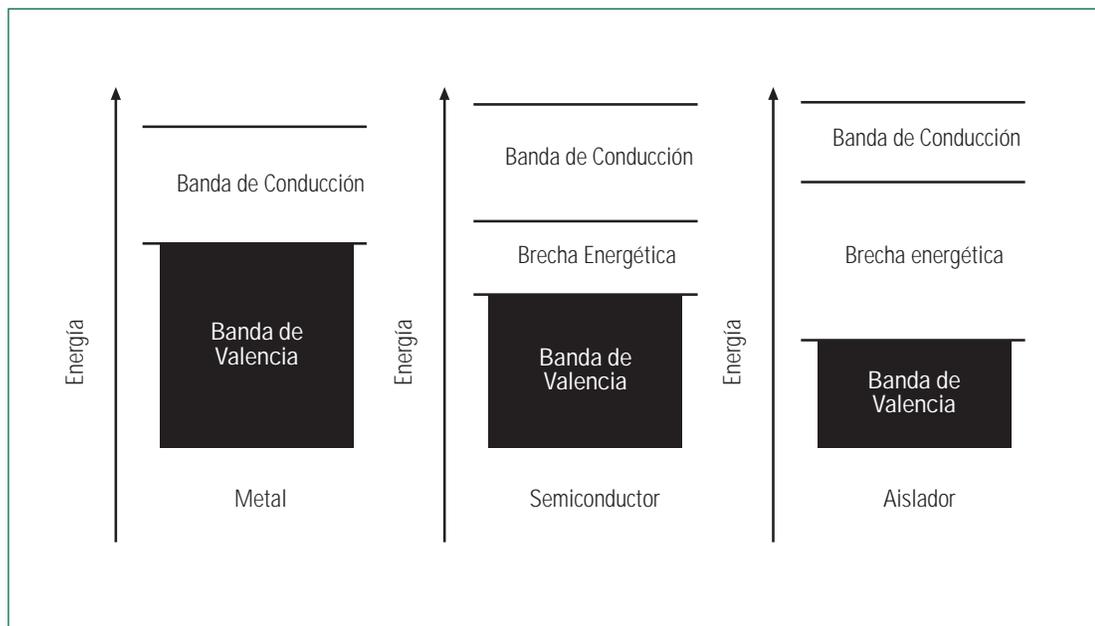
A diferencia de lo anterior, en un sólido iónico, en cambio, al desplazar los iones en un plano se produce una fuerte repulsión entre iones de igual carga que se enfrentan, lo que ocasiona la ruptura del cristal. Esto se ilustra en la parte b) de la siguiente figura.



El aspecto brillante o lustroso de los metales se explica porque los electrones de la banda de conducción pueden absorber una amplia gama de longitudes de onda de la energía radiante, siendo promovidos a niveles de energía superiores. Luego vuelven a los niveles de energía originales y emiten radiación en la región visible del espectro.

En el modelo de un semiconductor la banda, formada por el conjunto de pequeños recipientes que contienen rodamientos (electrones), está separada de la banda de conducción, que es la superficie de la caja, por una zona vacía. Esta es la parte superior de los pequeños recipientes.

Lo anterior explica que se necesite cierta energía para que los electrones puedan alcanzar la banda de conducción. La siguiente figura muestra la diferente disposición de las bandas para un metal, un semiconductor y un aislador. En ella se puede comparar, para esos tres materiales, la separación de energía entre la banda de conducción y la de valencia.



Los estudiantes podrán observar que en el metal no existe prácticamente una brecha energética, mientras que ésta es pequeña en el semiconductor y muy grande en el aislador, lo que dificulta la promoción de electrones de la banda de valencia a la de conducción.

### Actividad 3

---

**Indagan sobre el origen de las propiedades aisladoras de sólidos cristalinos y amorfos e indagan acerca de las propiedades de los semiconductores.**

Ejemplo

Experimentan con mica, greda cocida, baldosines cerámicos, planchas de internit®, vidrio pyrex®, tejas de greda y de cemento. Aplican la teoría de bandas a un semiconductor de silicio.

#### Ejemplo 1

Procedimiento

1. El docente entrega a cada grupo de dos alumnos 3 materiales de los seleccionados para esta actividad.
2. Los estudiantes ensayan, sólo a través de los sentidos, las propiedades de los materiales entregados.
3. Prueban las propiedades mecánicas, principalmente referidas a la dureza, ductibilidad, maleabilidad y a la facilidad de ruptura.
4. Toman nota de sus observaciones y comparan, para los diferentes sólidos, la estructura superficial e interna que se aprecia a simple vista y con ayuda de una lupa o microscopio.
5. Dibujan en sus cuadernos las estructuras superficiales de los sólidos examinados.

Los estudiantes indagan y debaten:

- Acerca de los factores que son importantes para que un sólido sea un buen aislante del calor.
- Sobre el comportamiento de esos materiales cuando se calientan directamente a la llama de un mechero.

#### Ejemplo 2

Procedimiento

1. Vierten 100 mL de agua en un vaso de precipitados y miden su temperatura.
2. Calientan el vaso y determinan el tiempo que demora el agua en alcanzar una temperatura prefijada, por ejemplo 50 °C.

3. Repiten el procedimiento anterior usando ahora materiales entregados por el docente, para ser colocados entre el vaso y la fuente de calor. (Estos materiales pueden ser una rejilla metálica, trozos de plancha de internit®, pizarreño®, baldosín cerámico, tejuela de cemento, mica, un recipiente de greda, o un vaso de precipitados de mayor tamaño).
4. Anotan sus observaciones, dibujan el arreglo experimental usado y comparan la velocidad de calentamiento en cada caso.

Los estudiantes indagan:

- Rasgos en común de los materiales anteriores, en lo que se refiere a su composición química.
- ¿Acaso hay una diferencia significativa cuando se calienta a través de una plancha de cobre o de hierro? (Experimentar).
- Factores que son importantes en relación a la velocidad con que se transfiere el calor, por ejemplo: tipo de material, masa y grosor).
- Resistencia eléctrica de esos materiales y si ella se compara con la del cobre o hierro. (La miden, utilizando un multímetro).
- Clase de material que se usa como aislador en torres de transporte de energía eléctrica de alta tensión.
- Constitución y estructura de materiales hechos a base de silicatos.

### Ejemplo 3

Procedimiento

1. Dibujan un modelo bidimensional de la estructura de un cristal de silicio. (Es similar a la estructura del diamante).
2. Señalan los electrones de valencia en torno a cada uno de los átomos de silicio.
3. Comparan y escriben la configuración electrónica externa del Si y la del C.
4. Realizan junto al diagrama desarrollado en los puntos 1 y 2 un dibujo esquemático de cristales de semiconductores derivados del silicio:
  - a. en un caso reemplazan un átomo de Si por uno de As (o P),
  - b. en el otro caso reemplazan imaginariamente un átomo de Si por uno de B.

Los estudiantes indagan y presentan sus trabajos acerca de:

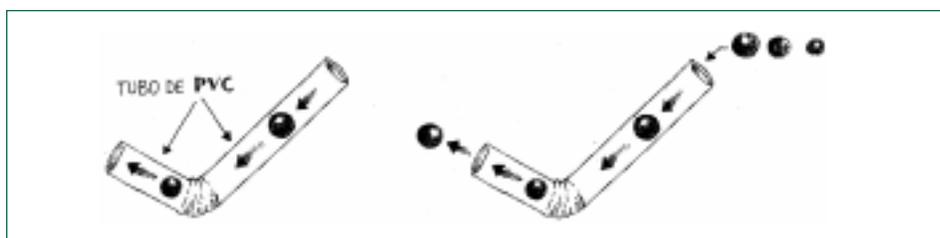
- Lo que se entiende por semiconductividad y su dependencia con la temperatura.
- De cómo se produce la conductividad eléctrica en un semiconductor a base de silicio.
- El fenómeno de dopaje con P (o As) en semiconductores de Si.
- El dopaje con B en semiconductores de Si.
- Origen de las designaciones para los semiconductores "tipo p" y "tipo n".
- Usos tecnológicos de los transistores y de los "chips" de silicio.
- Uso actual de las baterías solares y sus proyecciones futuras como fuentes de energía.

El docente explica luego, con mayor detalle, el fenómeno conocido como dopaje. (*Ver indicaciones al docente*).

#### Ejemplo 4

Procedimiento

1. Los estudiantes son informados por el docente que construirán un modelo que permita explicar cómo la energía de la luz visible puede liberar electrones en un semiconductor, los que traspasando la brecha energética llegan a la banda de conducción.
2. Disponen un tubo de PVC (cloruro de polivinilo) de  $\approx 40$  cm de longitud y lo unen a un trozo más pequeño, de unos 10 cm, mediante huincha de empaque, goma, u otro material que permita variar el ángulo.



3. Apoyan el vértice de modo que quede la parte de mayor longitud hacia arriba y colocan un rodamiento en el vértice.
4. Dejan caer por el tubo rodamientos de diferente tamaño hasta que, variando la inclinación del tubo largo, logran expulsar el primer rodamiento.
5. Toman nota de sus observaciones en sus cuadernos y dibujan el dispositivo utilizado.

Alumnas y alumnos indagan:

- Qué simulan los rodamientos dejados caer desde la parte alta.

(Los rodamientos simulan fotones de diferente energía, mientras que el rodamiento inferior simula un electrón en la banda de valencia).

- Energías que posee la radiación en diversas regiones del espectro visible.

Finalmente debaten acerca de cómo se imaginan que interactúa la luz con el semiconductor.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

##### **OBSERVACIONES ACERCA DE ALGUNOS SILICATOS, ALUMINOSILICATOS Y SUSTANCIAS RELACIONADAS**

El dióxido de silicio o sílice ( $\text{SiO}_2$ ) existe en la naturaleza en una forma cristalina, cuarzo, y en una variedad amorfa, conocida con el nombre de pedernal. El cuarzo se halla en dos formas enantiómeras, que son una imagen especular de la otra.

La estructura de los silicatos está basada en la unidad tetraédrica  $\text{SiO}_4$ , en la que los átomos Si ocupan el hueco central del tetraedro y los oxígenos se comparten entre las unidades. En varios minerales comunes llamados aluminosilicatos algunos átomos de Si son reemplazados por Al casi sin cambios estructurales.

El asbesto es un silicato de cadena doble y fórmula relativamente compleja,  $[\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2]_n$ , que existe en forma de cristales fibrosos o agujas. Estas fibras son altamente cancerígenas cuando son inhaladas.

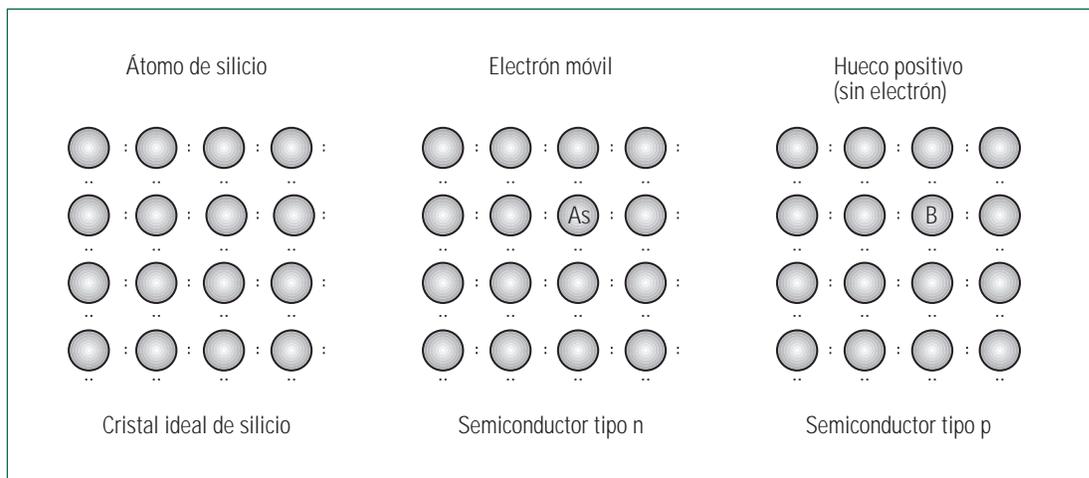
El talco es un silicato que tiene una estructura laminar (escamas) y cuya fórmula general es  $[\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]_n$ . La mica es un aluminosilicato que también forma láminas fácilmente exfoliables y en cuya estructura cada cuatro átomos de Si uno de ellos es reemplazado por Al. Su fórmula general es  $[\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2]_n$ .

Las arcillas son minerales formados principalmente por silicatos y aluminosilicatos de estructuras laminares, que resultan de la erosión de diversas rocas, entre ellas granito. Las capas poseen una gran superficie interna, por lo que son capaces de absorber una gran cantidad de agua. Las mezclas de arcillas son pequeñas placas con una área considerable. Cuando ellas están húmedas se moldean fácilmente y al ser calentadas a altas temperaturas ( $\approx 1000^\circ \text{C}$ ) se deshidratan tornándose muy rígidas.

##### **DOPAJE DEL Si. SEMICONDUCTORES DEL TIPO “n” Y “p”**

Es importante que el docente explique a alumnas y alumnos en qué consiste el dopaje del silicio, es decir la adición controlada de pequeñas cantidades de impurezas que tengan un electrón en exceso (semiconductores tipo n) o en defecto (semiconductores tipo p). Ello es de primerísima importancia en la tecnología moderna.

A continuación se ilustran esquemáticamente esas situaciones:

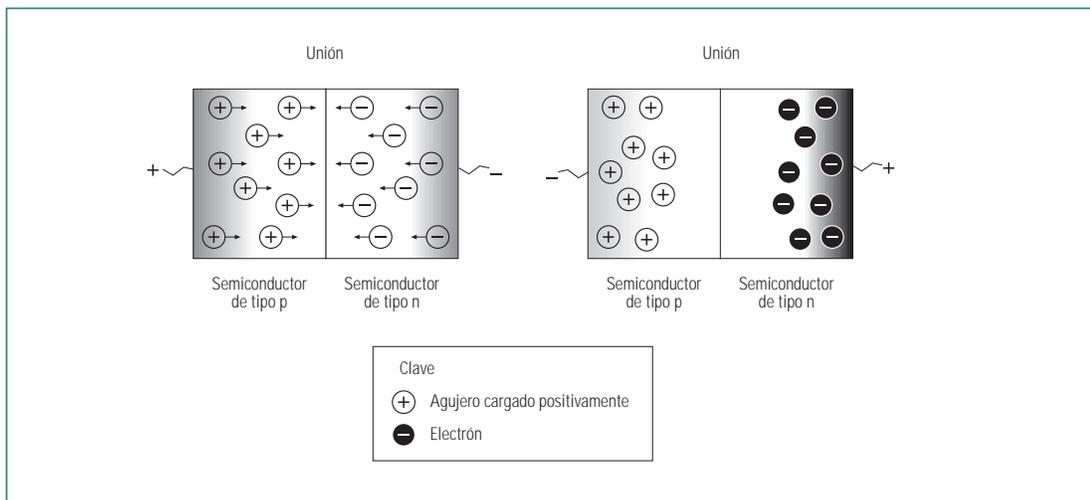


A la izquierda se muestra un cristal ideal de silicio en el que todos los átomos son de la misma naturaleza. Al centro se ilustra un cristal dopado con As (semiconductor tipo n), átomo que cuenta con un electrón adicional en la capa de valencia, lo que permite cierta conducción de la electricidad. A la derecha aparece el esquema para un semiconductor tipo p, que ha sido dopado con B, átomo que cuenta con un electrón menos que el Si en la capa de valencia.

En este último caso hay formalmente un hueco que puede ser ocupado por un electrón vecino, produciéndose también conductividad eléctrica. En suma, entonces, a partir del silicio pueden obtenerse semiconductores de tipo n y p, según el cristal se dope con átomos de un elemento con mayor y menor número de electrones de valencia, respectivamente.

La unión de un semiconductor tipo p con uno del tipo n funciona como un rectificador, permitiendo flujo de corriente en sólo una dirección, vale decir, transforma corriente alterna en continua. En el siguiente esquema los huecos (o agujeros positivos) se desplazan hacia la derecha, lo que equivale a transporte de carga negativa hacia la izquierda. En el semiconductor de tipo n los electrones se desplazan también hacia la izquierda.

Según se observa a la derecha, si se invierte la conexión de los cables no fluye corriente debido a que se produce un vaciamiento de portadores de carga cerca de la unión de los semiconductores.



### LOS “CHIPS” DE SILICIO Y LAS CELDAS SOLARES

Es importante que los estudiantes indaguen acerca del uso de los “chips” de silicio. La aplicación más importante de los semiconductores de silicio es el diseño de circuitos eléctricos intergrados (los llamados “chips”), de un tamaño algo mayor que 1 mm de diámetro, en los cuales se hallan miles y aun millones de transistores.

Estos dispositivos se hallan en forma de memorias y de unidades de procesamiento (CPU) en computadores, calculadoras y agendas electrónicas, cámaras fotográficas, relojes, marcapasos cardíacos, automóviles, aviones, etc. En la actualidad es difícil imaginar productos tecnológicos avanzados que no contengan circuitos integrados basados en “chips” de silicio.

El silicio dopado es la base de las celdas solares, en las cuales los fotones de la luz aportan la energía necesaria para que fluya corriente eléctrica en el semiconductor. Los semiconductores utilizados en las celdas fotovoltaicas tienen espacios entre las bandas que van de 1,0 a 1,6 eV (electrón-volt). Así por ejemplo, en el silicio cristalino el hueco es de 1,1 eV y en el GaAs (arseniuro de galio) es de 1,43 eV. En el arseniuro de galio y aluminio la brecha es de 1,7 eV.

Es importante hacer notar que el espectro solar completo cubre un rango de energía que va desde 0,5 hasta 2,9 eV, aproximadamente. La radiación en el rojo tiene una energía próxima a 1,7 eV y la luz azul de 2,7 eV. Aproximadamente el 55% de la radiación solar puede ser utilizada para las celdas solares.

Como dichas celdas no necesitan mantención ni tienen partes móviles son apropiadas para usos en el espacio. El telescopio espacial Hubble y casi todas las comunicaciones satelitales obtienen de celdas fotovoltaicas la energía necesaria para su operación.

### PRECAUCIONES Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

**!** Todos los sólidos que se usan en esta actividad son derivados del silicio y de los silicatos y es importante que el docente verifique que los materiales que sean utilizados por los estudiantes estén completamente libres de asbesto. Ello debe estar clara y expresamente indicado en las planchas de internit® o de pizarreño®. En todo caso, si el origen del material aparece desconocido o de carácter dudoso, se recomienda al docente no permitir su uso a los estudiantes.

#### Actividad 4

**Indagan sobre la dependencia de la conductividad con la temperatura en metales y se aproximan a la comprensión del concepto de superconductividad.**

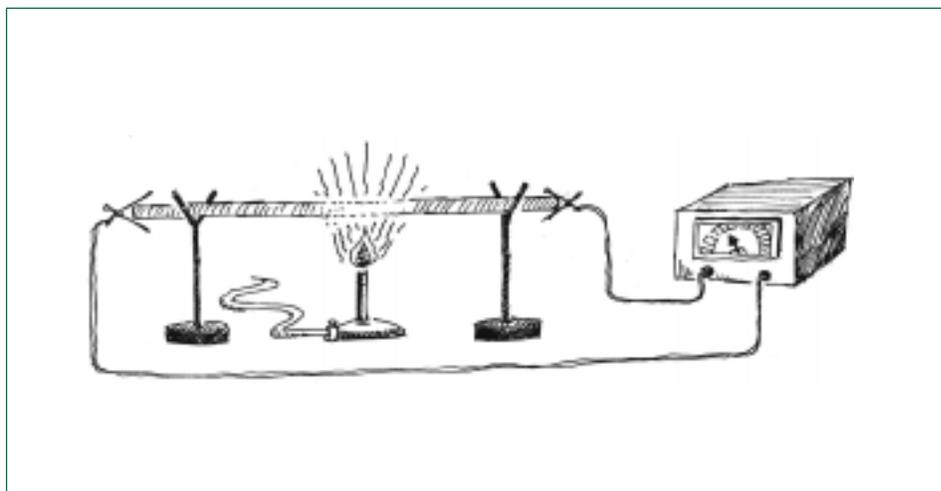
Ejemplo

Determinan la resistencia eléctrica de varios metales a diferentes temperaturas. Intentan extrapolar los resultados a temperaturas que son comúnmente inaccesibles en el laboratorio escolar e indagan acerca del fenómeno de superconductividad.

#### Ejemplo 1

Procedimiento

1. Los estudiantes, separados en grupos, debaten acerca de sus representaciones del concepto y mecanismo de la conducción eléctrica en metales.
2. El docente completa y precisa sus representaciones.
3. La profesora o el profesor pone a disposición de cada grupo barras de Al, Cu y Fe (de aproximadamente 35 cm de longitud y máximo 1 cm de diámetro).
4. Alumnos y alumnas montan el siguiente arreglo experimental. Para ello sostienen las barras y las calientan fuertemente en su parte central. Interrumpen el calentamiento.
5. De inmediato conectan a los extremos de la barra los terminales de un multímetro y miden la resistencia eléctrica, cada 10 segundos, hasta que la temperatura de la barra sea próxima a la ambiental.



6. Dibujan el arreglo experimental y realizan un gráfico de la resistencia eléctrica en función del tiempo.
7. Plantean una conclusión de tipo general a partir de sus observaciones, en relación a la resistencia eléctrica en función de la temperatura. (*Ver indicaciones al docente*).

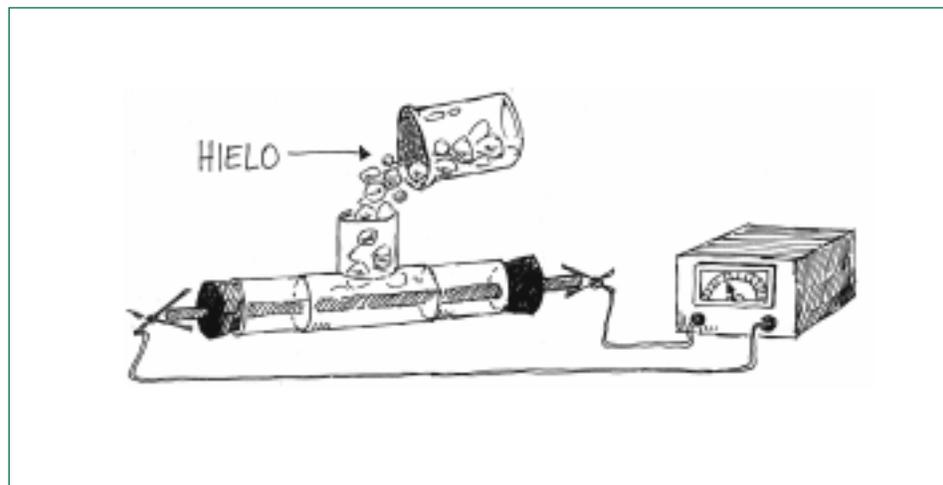
Los estudiantes indagan:

- Por qué la resistencia eléctrica alcanza finalmente un valor estable.
- Razón por la que la temperatura de la barra desciende en el tiempo una vez que cesa el calentamiento.

### Ejemplo 2

Procedimiento

1. Los estudiantes instalan una "T" a la que se acoplan dos cañerías de PVC, según se ilustra en la figura.
2. Perforan dos tapones de goma, de manera que el diámetro de las perforaciones sea ligeramente menor que el de la barra.
3. Colocan la barra dentro de la rama horizontal de la "T" e insertan los tapones de modo que un pequeño trozo de la barra sobresalga en los extremos.



4. Conectan los terminales del multímetro a los extremos.
5. Colocan en el interior de la cavidad las siguientes sustancias, en forma consecutiva, midiendo en cada caso la temperatura y la resistencia de la barra de Al, Cu o Fe en:
  - hielo seco (dióxido de carbono sólido) o hielo seco con etanol
  - hielo con sal
  - hielo con agua
  - agua a temperatura ambiente
  - agua a 50 °C
  - agua a 90 °C
6. Dibujan en su cuaderno el arreglo experimental y anotan las temperaturas y resistencias eléctricas medidas.
7. Hacen un gráfico R vs T y enuncian una conclusión.

Los estudiantes indagan:

- Si es razonable extrapolar para temperaturas más bajas el gráfico obtenido.
- Cómo se compara la resistencia del filamento de una ampolleta cuando está fría y luego de algunos instantes.
- Razón por la cual las ampolletas se queman más frecuentemente al encenderlas que cuando llevan algún tiempo encendidas.
- Significado de los conceptos de:
  - resistencia
  - conductancia
  - resistividad
  - conductividad

El docente entrega a los alumnos y alumnas datos de la resistividad eléctrica de los metales Al, Cu y Fe en función de la temperatura desde 1 a 800 K. (*Ver indicaciones al docente*).

Los estudiantes realizan lo siguiente:

- Dibujan una curva con esos datos.
- Comparan esa curva con la obtenida anteriormente a partir de los valores experimentales.
- Examinan la forma de las curvas y observan la tendencia general de la variación de la resistencia con la temperatura.
- Debaten sobre lo que esperarían que sucediera a muy baja temperatura.

Indagan en internet acerca de lo siguiente:

- Significado del concepto de superconductividad
- Acaso existen materiales que tengan una muy alta conductividad, es decir, casi cero resistencia a temperaturas cercanas al cero absoluto.
- Si hay materiales que tengan muy alta conductividad a temperaturas más altas, por ejemplo a 100 K.
- De qué orden son las temperaturas más altas a las que presentan superconductividad algunos materiales desarrollados recientemente.

Guiados por el docente, alumnas y alumnos precisan el concepto de superconductividad y sus aplicaciones tecnológicas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

##### **ACERCA DE LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD E INDICACIONES METODOLÓGICAS**

Para la realización de esta actividad es conveniente que el docente de química sea apoyado por el profesor de física, para así obtener el mejor provecho de las actividades experimentales y, además, interiorizarse acerca de las medidas de seguridad que deben observar los estudiantes y el docente cuando se trabaja con una fuente de voltaje.

Asimismo, es importante tomar las precauciones para el cuidado de los equipos a utilizar, (reóstato, voltímetro, amperímetro o multímetro).

El provecho obtenido del experimento del ejemplo 1 será mayor si se dispone de termómetros. Se puede hacer una cavidad en un extremo de la barra y colocar allí un líquido termométrico, siendo así posible realizar mediciones de resistencia eléctrica a varias temperaturas conocidas.

Luego de realizado el experimento del ejemplo 2, la barra de hierro debe ser enjuagada de inmediato si se ha usado dentro de cualquier solución que contenga cloruro de sodio, ya que ésta es muy corrosiva.

**DEPENDENCIA DE LA RESISTIVIDAD DEL HIERRO, COBRE Y ALUMINIO CON LA TEMPERATURA**

Es importante observar que la resistividad del Fe tiene un coeficiente de temperatura mayor que la del Cu y Al, por lo que aquél es un metal más apropiado para realizar los ensayos. En la siguiente tabla se indica la resistividad de algunos metales a temperatura ambiente:

Metal	resistividad a 20 °C /10 <sup>-8</sup> Ω • m
cobre	1,673
aluminio	2,655
hierro	9,71
plomo	20,648
plata	1,59
oro	2,35
“nicrón” (aleación Ni/Cr)	150

Fuente: CRC Handbook of Chemistry and Physics, 57ª edición, Cleveland, USA.

Se observa que la plata y el cobre son dos metales de baja resistividad, mientras que la aleación “nicrón” posee una resistividad que es aproximadamente 100 veces superior.

En la siguiente tabla se muestra la dependencia de la resistividad con la temperatura Kelvin para los metales Al, Cu y Fe. Es importante entregar esta tabla a los estudiantes antes de que realicen sus experiencias, de modo que puedan confeccionar el gráfico y compararlo con sus resultados experimentales.

Resistividad eléctrica en unidades 10<sup>-8</sup> Ω • m

Temperatura/K	Aluminio	Cobre	Hierro
1	0,000100	0,00200	0,0225
10	0,000193	0,00202	0,0238
20	0,000755	0,00280	0,0287
40	0,0181	0,00239	0,0758
60	0,0959	0,0971	0,271
80	0,245	0,215	0,693
100	0,442	0,348	1,28
150	1,006	0,699	3,15
200	1,587	1,046	5,20
273	2,417	1,543	8,57
293	2,655	1,673	9,71
298	2,709	1,712	9,87
300	2,733	1,725	9,98
400	3,87	2,402	16,1
500	4,99	3,090	23,7
600	6,13	3,792	32,9
700	7,35	4,514	44,0
800	8,70	5,262	57,1

Es importante que el docente destaque el fuerte aumento de la resistividad de los metales cuando crece la temperatura. Así por ejemplo, el aluminio presenta de 1 K a 293 K ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) un aumento de la resistividad de 26500 veces.

Algunas relaciones que pueden ser útiles y que se hallan en textos del subsector física son las siguientes:

$R = \rho (L/A) [\Omega]$ , en que  $R$  es la resistencia,  $\rho$  la resistividad,  $L$  la longitud del conductor y  $A$  el área de su sección transversal.

$\rho = 1/\sigma [\Omega\text{m}]$ , en la que  $\sigma$  es la conductividad.

$R=R_0 [1+ \alpha(T-T_0)]$ , donde  $R_0$  es la resistencia a la temperatura  $T_0$  y  $R$  la resistencia a la temperatura  $T$ .  $\alpha$  es el coeficiente térmico de la resistividad.

$\rho=\rho_0 [1+ \alpha(T-T_0)]$ , en que  $\rho_0$  es la resistividad a  $T_0$ .

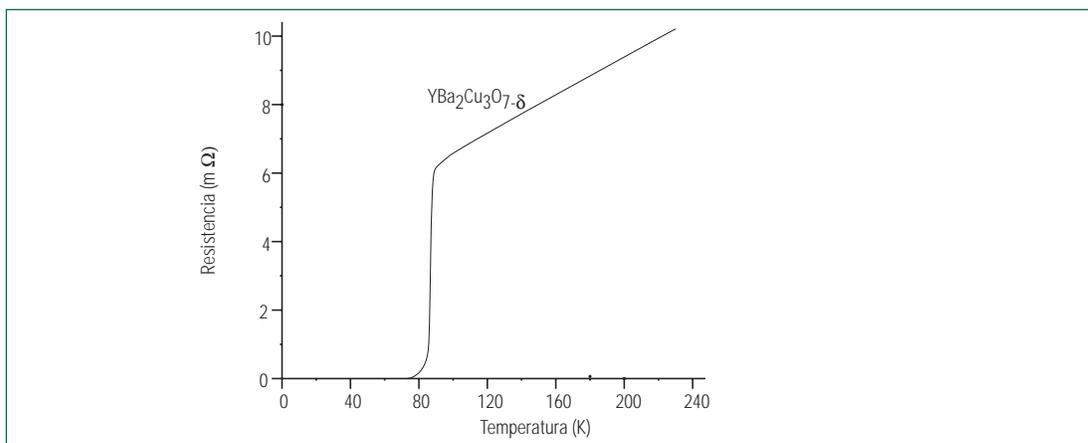
La superconductividad fue descubierta en 1911 por el físico holandés H. Kamerlingh Onnes, mientras estudiaba la resistividad de los metales a baja temperatura. Estos estudios fueron posibles luego que él mismo lograra la licuación, por primera vez, del helio (1908), que tiene un punto de ebullición de sólo 4,2 K.

Al estudiar la resistividad del mercurio a bajas temperaturas, encontró que a 4,15 K la resistencia se reduce de manera abrupta a prácticamente cero. Por sus contribuciones al estudio de la materia a bajas temperaturas y por la licuación del helio, Onnes recibió en 1913 el premio Nobel de Física. En esos años se descubrió que otros metales también se transformaban, a muy bajas temperaturas en superconductores. En la tabla se observa que el elemento niobio fue el que presentaba la temperatura más alta de transición de conductor a superconductor.

Metal	Temperatura de transición a superconductor/K
Al	1,19
Hg	4,15
Pb	7,23
Sn	3,72
Ti	0,39
W	0,015
Zn	0,85
Nb	9,26
V	5,30

Durante varios años los científicos investigaron en la búsqueda de materiales que fueran superconductores a temperaturas más altas y hasta 1986 la aleación  $\text{Nb}_3\text{Ge}$  tuvo la temperatura crítica conocida más alta, 23 K. A principios de ese año, J.George Bednorz y Karl A. Müller confirmaron la existencia de superconductividad en un óxido de lantano, bario y cobre,  $\text{LaBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_4$ , a una temperatura cercana a los 30 K. Luego, al sustituir Ba por Sr, estos investigadores incrementaron el valor de la

Tc hasta aproximadamente 36 K. Este importante descubrimiento marca el principio de una nueva etapa de la superconductividad a “alta temperatura” por lo que Bednorz y Müller fueron galardonados, en 1987, con el premio Nobel.



Los últimos descubrimientos desencadenaron una gran cantidad de investigación en torno a la búsqueda de nuevos materiales con propiedades superconductoras a alta temperatura. A comienzos de 1986 investigadores en Alabama y Houston anunciaron el descubrimiento de superconductividad a una temperatura cercana a 92 K, en un compuesto identificado como YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-5</sub>. La figura muestra para este compuesto la dependencia de la resistencia con la temperatura, en la que se aprecia la caída brusca de la resistencia a los 90 K, aproximadamente.

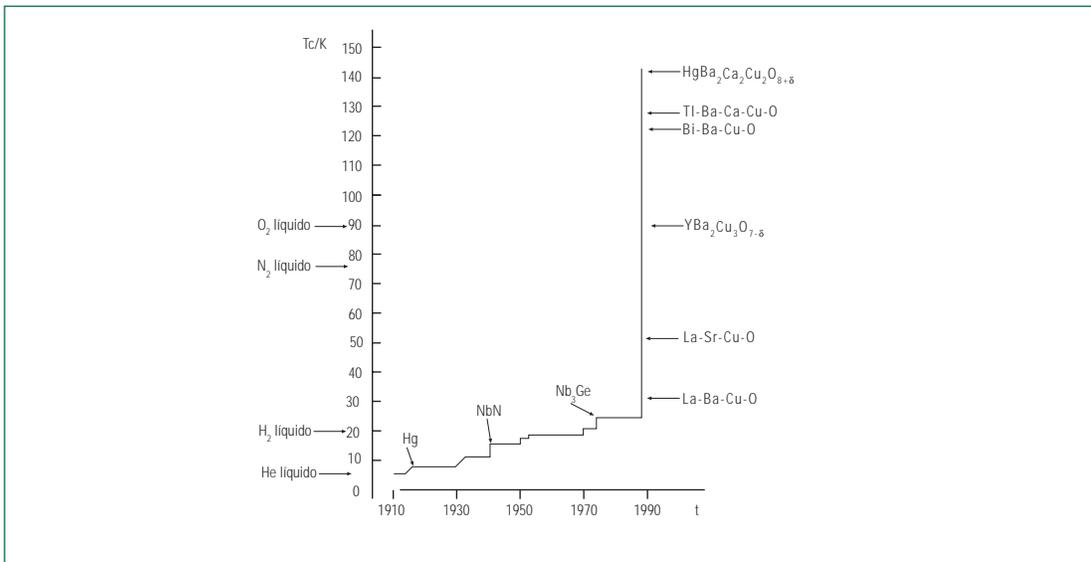
El hallazgo anterior es un hito importante en la búsqueda de materiales superconductores, ya que la temperatura de transición está sobre el punto de ebullición del nitrógeno líquido (77 K), que se obtiene con relativa facilidad y es más económico que el helio líquido.

Recientemente se ha estudiado la conductividad de varios óxidos complejos, del tipo de materiales cerámicos, con estructuras similares a las perovskitas, lo que exhiben propiedades superconductoras sobre 100 K.

Superconductor	Tc (K)
La-Ba-Cu-O	30
La <sub>1,85</sub> Sr <sub>0,15</sub> CuO <sub>5</sub>	36,2
La <sub>2</sub> CuO <sub>4</sub>	40
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub>	92
ErBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>9-δ</sub>	94
DyBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	92,5
Bi-Sr-Ca-Cu-O	120
Tl-Ba-Ca-Cu-O	125
HgBa <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>2</sub> O <sub>8+δ</sub>	153

En la tabla adjunta se informa sobre algunos de los óxidos complejos cerámicos y la temperatura crítica de transición al estado de superconductor. Se puede apreciar que existe un superconductor a 153 K.

Desde los hallazgos de 1986 se han ido descubriendo nuevos materiales superconductores, según puede observarse en la figura siguiente, en la cual todos estos materiales son óxidos mixtos de cobre, en combinación con un metal alcalino térreo (Ca, Sr o Ba) y algún otro elemento (tierras raras como Er o Dy), itrio, o bien, talio o mercurio.



¿Qué podría significar, en el futuro, la posibilidad de contar con materiales superconductores?

Primero es importante que el docente señale que un superconductor transmite la corriente eléctrica sin resistencia, y por lo tanto, sin pérdida de energía. Además, los materiales superconductores cerámicos soportan altas intensidades de corriente y pueden proyectarse aplicaciones interesantes:

- se podría transmitir la energía eléctrica a grandes distancias sin pérdida alguna por disipación en forma de calor. Hay que considerar que un “buen” conductor eléctrico como cobre o aluminio produce pérdidas de energía que son del orden del 20% de la energía eléctrica transmitida.
- sería posible construir poderosos electromagnetos, en los cuales la corriente circularía indefinidamente con gran intensidad. Algunas aplicaciones de ellos serían:
  - aceleración de partículas elementales con el objeto de obtener mayor información sobre la estructura y energía nuclear;
  - transporte por medio de vehículos que “levitan” en un intenso campo magnético, pudiendo deslizarse sin fricción, tal como se ha logrado experimentalmente en Japón;
  - obtención de mejores imágenes para el diagnóstico clínico, por medio de la técnica de resonancia magnética nuclear;
- nuevos avances en la investigación estructural en química y en la física del estado sólido a través del uso de equipos de resonancia magnética nuclear operados con campos magnéticos muy intensos;
- construcción de reactores de fusión nuclear que sean capaces de mantener plasma por acción de intensos campos magnéticos, y
- construcción de superchips para computadores que podrían procesar información unas 1000 veces más rápido que los chips de silicio utilizados en la actualidad.

Uno de los mayores desafíos tecnológicos consiste en desarrollar superconductores con propiedades mecánicas apropiadas o una tecnología que permita usarlos en las aplicaciones mencionadas, ya que los materiales cerámicos presentan inconvenientes debido a que son quebradizos y no pueden ser producidos en forma de hilos o alambres que permitan ser doblados o deformados.

### Actividad 5

---

**Indagan acerca del tamaño de átomos y moléculas y lo relacionan con el de objetos del macromundo. Se introduce el concepto de nanotecnología y sus proyecciones.**

Ejemplo

Utilizan la información sobre tamaños atómicos y moleculares e indagan sobre tamaños de polímeros y macromoléculas. Los comparan con objetos comunes del macromundo. Realizan ejercicios orientados a comprender en qué consiste la nanotecnología.

#### Ejemplo 1

Procedimiento

Establecen comparaciones entre las dimensiones de diversos objetos y las analizan.

Procedimiento

1. Alumnas y alumnos indagan acerca de las dimensiones del:
  - diámetro de un cabello,
  - tamaño de una bacteria,
  - espesor del papel de aluminio,
  - espesor del papel celofán,
  - espesor de la piel humana.
2. Establecen la escala de longitudes que va desde los picómetros ( $10^{-12}$ m) hasta los metros, pasando por los nano-( $10^{-9}$  m), micro-( $10^{-6}$  m), mili-( $10^{-3}$  m), centi-( $10^{-2}$  m) y decímetros( $10^{-1}$  m).
3. Expresan los espesores de los objetos del punto 1 en nanómetros y centímetros.
4. Toman nota de las dimensiones en sus cuadernos y hacen dibujos a escala, por ejemplo, con un aumento de  $10^3$  veces.

Los estudiantes debaten:

- Acerca de las dimensiones comparativas de la dimensión menor y mayor de los objetos considerados en el punto 1 en relación a un átomo de hidrógeno.

### Ejemplo 2

Procedimiento

Construyen algunos modelos moleculares y los transforman deduciendo lo que podría entenderse por "nanotecnología". (Ver indicaciones al docente).

Procedimiento

1. Guiados por el docente, realizan cálculos comparativos entre los tamaños moleculares y lo siguiente:
  - cuántas moléculas de etileno pueden alinearse en el diámetro de un cabello
  - número de macromoléculas de hemoglobina que caben en una bacteria de estafilococo dorado.
  - número de bacterias de estafilococo dorado que pueden apilarse para dar el espesor de la piel humana
  - cuántas moléculas de etileno se pueden colocar para cubrir el espesor del plástico usado para envolver alimentos
  - cuántos átomos de aluminio pueden apilarse para dar el espesor del papel de aluminio comercial (Alusafoil®)
2. Disponen mondadientes y esferas de plumavit de diferentes tamaños usadas en actividades anteriores, de las cuales seleccionan tres cuyos tamaños relativos estén a escala con los tamaños de los átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno.
3. Arman un modelo de la acetona (o propanona),  $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ , utilizando las esferas que representan los átomos de C, O e H y de los mondadientes para representar los enlaces.
4. Usando los mismos átomos intentan ubicar la posición de los enlaces y distribución espacial de los átomos, de modo de obtener modelos de compuestos diferentes de la acetona y de existencia real.
5. De manera similar a la anterior seleccionan 3 esferas que representan átomos C, 6 que representan átomos H y 2 que representan átomos O, para tener una fórmula global de  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ .

6. Intentan armar la mayor cantidad de modelos de compuestos que sea posible, pero que tengan existencia real.
7. (Opcional) Los estudiantes que acepten el desafío pueden construir modelos de compuestos que correspondan a la fórmula global  $C_3H_6O_3$ .
8. Los estudiantes escriben las diversas fórmulas en su cuaderno y dibujan las estructuras.

Los estudiantes indagan y debaten:

- Cómo es que a pesar que los compuestos correspondientes a los modelos tratados en el ejemplo anterior están formados por los mismos átomos, difieren en sus características y propiedades.
- Acaso les parece que si pudieran arreglar los átomos a su gusto, se podrían obtener diferentes compuestos con propiedades también diferentes.
- Si se rearreglan los átomos de silicio que hay en la arena, acaso podríamos obtener “chips” de silicio como los usados en computadores.
- Acaso rearreglamos los átomos que constituyen la basura o los desperdicios industriales si podríamos obtener alimentos.

El docente señala que no se pueden arreglar los átomos a nuestro arbitrio, pero si se cuenta con la energía y la tecnología adecuadas en el futuro podrían ser transformados algunos compuestos en otros.

La profesora o el profesor introduce el concepto de nanotecnología y que la habilidad para trabajar a nivel molecular, arreglando átomo por átomo, creando nuevas estructuras fundamentales de diferentes tamaños con una nueva organización molecular, es la esencia de esta nueva tecnología. Mediante esta futura tecnología se pretende construir materiales y sistemas cuyas estructuras y componentes tengan propiedades físicas, químicas y biológicas significativamente nuevas y/o mejoradas debido a su pequeño tamaño en la región de la “nanoescala”.

Se abre un espacio para que los estudiantes debatan e intercambien ideas acerca de lo que imaginan que puede involucrar el desarrollo de esta nueva tecnología.

Los estudiantes se informan a través de internet sobre las proyecciones y posibilidades futuras de la “nanotecnología”. Exponen sus trabajos y debaten sus apreciaciones entre ellos y con el docente.

## INDICACIONES AL DOCENTE

En los experimentos de transformación de las moléculas en otras, es muy importante hacer notar a los estudiantes que están manipulando las estructuras químicas en la región de los “nanómetros” ( $10^{-9}$  m), lo que actualmente no se puede hacer en forma directa. La nanotecnología pretende entregar el mecanismo para poder operar con gran finura.

Debe hacerse notar que la palabra “nanotecnología” se ha extendido notablemente, usándose en la actualidad para describir investigaciones en variados campos de la ciencia, donde la característica común es el trabajo con estructuras de dimensiones menores que 1000 nanómetros.

En lo posible se dispondrá de conjuntos de modelos moleculares de bakelita o de otro plástico resistente, ya que de este modo es posible generar con mayor precisión los modelos de moléculas deseados.

Mayor información e interesantes figuras sobre “nanosistemas” que podrían construirse se pueden obtener en internet con ayuda de las referencias que se entregan al final de esta unidad.

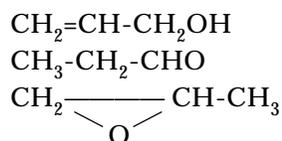
## INDICACIONES ESPECÍFICAS PARA EL EJEMPLO 2

Es importante que el docente apoye a los estudiantes en la construcción de modelos y que los oriente para que siempre sus proposiciones cumplan con las reglas básicas de la química (regla del octeto, valencias características de cada uno de los elementos, distancias de enlace proporcionadas a las reales, etc.).

El estafilococo dorado es una bacteria anaeróbica facultativa, esférica, de un diámetro aproximado de 1  $\mu\text{m}$ . (Su nombre proviene del hecho que muchas de sus cepas producen un pigmento amarillo o anaranjado).

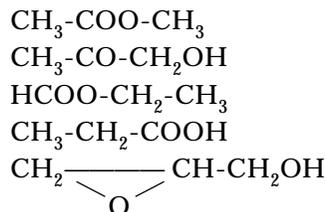
Referido al punto 4 del ejemplo, la fórmula global de la propanona es  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  y es posible construir una serie de modelos moleculares, entre ellos:

alcohol alílico  
propanal  
óxido de propileno



En lo referido al punto 6, algunos de los modelos posibles son:

acetato de metilo  
acetol  
formiato de etilo  
ácido propiónico  
glicidol

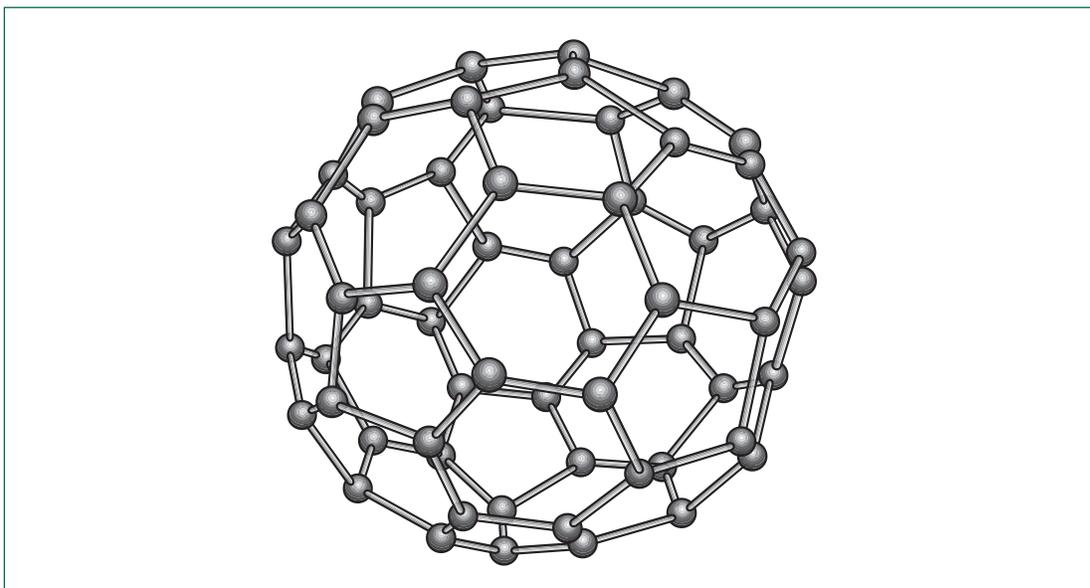


Con respecto al punto 7 del ejemplo, pueden construirse 10 modelos de compuestos a partir de la fórmula global  $C_3H_6O_3$ . Ellos son:

ácido glicólico	$CH_3OCH_2COOH$
dimetil carbonato	$CO(OCH_3)_2$
gliceraldehido	$CH_2OHCHOHCHO$
hidroxiethyl formiato	$HCOOCH_2CH_2OH$
ácido metilglicólico	$CH_2OHCOOCH_3$
ácido hidracrílico	$CH_2OHCH_2COOH$
ácido láctico	$CH_3CHOHCOOH$ (d y l)
dihidroxi acetona	$CO(CH_2OH)_2$
trioxano	$OCH_2OCH_2OCH_2$

#### INDICACIONES REFERIDAS AL ARREGLO DE ÁTOMOS DE CARBONO

Los átomos de carbono se pueden encontrar en la naturaleza como antracita, pero si pudiéramos arreglarlos en forma diferente podríamos obtener grafito; en otro arreglo distinto podemos obtener diamante y en otro tipo de arreglo podríamos obtener fullereno,  $C_{60}$ .



## Referencias

1. <http://www.zyvex.com/nano>: introducción y conceptos acerca de la nanotecnología molecular y sus conexiones.
2. <http://www.zyvex.com/nanotech/visuals.html>: interesantes figuras en colores.
3. <http://www.zyvex.com/nanotech/howlong.html>: apreciación del tiempo en que estará disponible la nanotecnología.
4. <http://www.nano.gov/education.htm>: nanotecnología impulsada por el gobierno de EE.UU.
5. <http://www.mrsec.wisc.edu/edetc/LEGO/index.html>: cómo explorar el nanomundo usando el juego "LEGO".
6. <http://nanonet.rice.edu/intronanosci/sld001.html>: curso elemental introductorio a la nanociencia.
7. <http://www.sciam.com>: Scientific American, Septiembre 2001, Pág. 26. Número completo dedicado a la nanotecnología.
8. <http://cnst.rice.edu/dallas12-96.html>: artículo escrito por Rich Smalley sobre el tema y proyección de lo que puede ocurrir en los próximos 50 años.
9. <http://www.englib.cornell.edu/SciTech/s95/ntek.html>: interesante artículo sobre posibles nanomáquinas. Exhibe buenas figuras.
10. [http://www.fsp.csic.es/el\\_mundo/nanorobots.html](http://www.fsp.csic.es/el_mundo/nanorobots.html): artículo de tipo general; en español.
11. [http://www.fsp.csic.es/el\\_mundo/el\\_mundo.html](http://www.fsp.csic.es/el_mundo/el_mundo.html): una buena presentación general de la nanotecnología; en español.

## Bibliografía

Brown, LeMay, Bunster, Química, Prentice Hall, 1997, Cap. 12.

Moore, Stanitski, Woods, Kotz, El mundo de la química: Conceptos y aplicaciones, Pearson Educación, 2000, Cap. 15.

Pimentel, G.C., Coonrod, J.A., Oportunidades en la química. Presente y futuro. McGraw-Hill, 1995, (ISBN 970-10-0611-9).

Un texto de nivel apropiado y que contiene desarrollados de manera entretenida tópicos de interés en un amplio campo de la química. Se recomienda para ambas unidades de este programa.

**<http://www.aegis.com/pubs/drugs/305.html>**  
Información acerca de algunas propiedades del paracetamol. Más de 50 sinónimos del paracetamol.

**<http://www.lef.org/protocols/abstracts/abstract-001.html#4>**

Información sobre el paracetamol

**[http://www.foresight.org/UTF/unbound\\_LBW/index.htm](http://www.foresight.org/UTF/unbound_LBW/index.htm)**

“Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution”

(Texto de divulgación en la red. Enfoque futurista y especulativo acerca del impacto de la nanotecnología en diferentes ámbitos).

**<http://www.nano.org.uk/nano.htm>**

Enfoque elemental de la nanotecnología.



## Unidad 2

### **Parte 1: Relación de la química con procesos biológicos y ciencias de la salud**

#### **Contenidos**

- Introducción a la farmacología: productos naturales, drogas terapéuticas y de abuso. Toxinas y venenos. Drogas sintéticas y semisintéticas.
- Las proteínas como blanco de las drogas. Mecanismos generales de acción de las drogas.
- Conceptos de agonista, antagonista, inhibidor y bloqueador.
- Conceptos básicos de la relación estructura-actividad y dosis-efecto.

### Aprendizajes esperados

Los alumnos y alumnas:

- Identifican entre la diversidad de agentes químicos aquellos con actividad terapéutica (drogas o fármacos) y aquellos nocivos para la salud (toxinas y venenos).
- Reconocen las diversas fuentes de obtención de drogas con actividad terapéutica.
- Conocen los mecanismos generales de acción de las drogas:
  - las diferentes proteínas que son blanco de ellas
  - la relación entre su estructura y actividad
  - la relación entre la dosis de la droga y su efecto.
- Distinguen entre una droga y un medicamento:
  - aprenden las diferentes formulaciones farmacéuticas de los medicamentos y su relación con la absorción de la droga;
  - comprenden las diferentes reacciones químicas de biotransformación;
  - conocen la noción de vida media y los mecanismos de eliminación de drogas.

### Orientaciones didácticas

La unidad de farmacología le dará al docente la oportunidad de mostrar a los estudiantes la importancia de la química sobre su organismo, considerado una entidad biológica. De manera análoga, las alumnas y alumnos podrán reconocer la diversidad de agentes químicos a los que están expuestos y comprender su impacto sobre la salud de la población.

Durante el desarrollo de la primera parte de esta unidad los estudiantes podrán distinguir, entre la diversidad de agentes químicos, aquellos que tienen valor terapéutico y los que carecen de él, como es el caso de los agentes inertes que forman parte de los medicamentos, los aditivos y conservadores de alimentos. En otra categoría podrán situar las toxinas y las drogas de abuso.

Los estudiantes reconocerán, además, el origen o fuente de obtención de las drogas con valor terapéutico. En este sentido, es importante usar estos ejemplos para corregir la noción errónea y muy generalizada que las drogas de origen sintético son dañinas per se y que todo lo que es natural resulta inocuo. Baste pensar en la multitud de productos naturales que pueden tener efectos dañinos y hasta letales sobre nuestro organismo. ¿No son acaso sustancias naturales las que están contenidas en el veneno de serpientes, sapos, arañas, hongos, la cicuta, entre muchos otros productos altamente tóxicos, y numerosos alcaloides como la estricnina? Hay múltiples hierbas a las que se les atribuye efectos curativos, unos verdaderos, otros imaginarios, que se beben en forma de infusiones y que hoy se sabe que contienen sustancias dañinas. El rótulo de “producto natural” ha pasado a convertirse en la fórmula mágica para lograr la venta de algún preparado. Expresión común de este tan arraigado prejuicio es el dicho “eso es pura química”, como si los alimentos, el agua y cuanto ingerimos no fuese de naturaleza química.

Los estudiantes podrán conocer cómo el organismo actúa sobre las drogas o fármacos, o sea los mecanismos de absorción, distribución y eliminación de drogas. En lo que es propio de la farmacología aprenderán, a través de ejemplos, acerca de la importancia de la buena calidad de los medicamentos: equivalencia química, bioequivalencia y biodisponibilidad serán tres conceptos claves para comprender que un medicamento que parece igual a otro puede ser en realidad muy inferior en su efecto terapéutico, no obstante que ambos contienen la misma droga activa en idéntica cantidad.

Durante el desarrollo de estas actividades podrán usar conocimientos previamente adquiridos en química, por ejemplo, las reacciones redox, hidrólisis y aplicaciones de la cinética (catálisis enzimática, orden de una reacción, vida media, etc.). Los alumnos y alumnas además, construirán e interpretarán gráficos a partir de datos experimentales. Por otra parte, los estudiantes también se confrontarán con sus conocimientos de biología tales como la absorción de los alimentos, la sinapsis, el sistema circulatorio como mecanismo de transporte de agentes químicos y el transporte a través de membranas.

Los estudiantes tendrán la ocasión de conocer los efectos de las drogas sobre el organismo. Durante el desarrollo de estas actividades resulta fundamental que ellos adquieran el concepto que los agentes químicos, para ejercer su efecto terapéutico, necesitan interaccionar con otras moléculas que generalmente son de naturaleza proteica. Este concepto ayuda a comprender tanto los efectos terapéuticos como los efectos colaterales y adversos de una droga. Por otra parte, los estudiantes conocerán los agentes químicos que forman parte de los alimentos y bebidas que consumen. El docente puede orientar la discusión de manera que los alumnos y alumnas tomen conciencia que el conocimiento de estos agentes y su modo de acción les permitirá elegir, decidir y proteger sus derechos como consumidor.

Durante el desarrollo de la segunda parte de esta unidad el docente utilizará la familia de las penicilinas y la familia de los agentes adrenérgicos para integrar, a través de estos ejemplos, los distintos aspectos tratados en la primera parte. Por ejemplo, puede usar las penicilinas como ejemplo de drogas de origen natural y los agentes adrenérgicos como ejemplo de drogas de origen sintético. El estudio de ambas familias de fármacos permitirá al estudiante conocer los efectos terapéuticos y adversos del uso de medicamentos, permitiendo introducirse en el estudio de la relación entre la estructura de una droga y su actividad terapéutica.

Las alumnas y alumnos, a través de la indagación acerca de los efectos de las drogas de abuso, podrán adquirir la capacidad de distinguir entre el abuso y la adicción. A su vez, comprenderán que la adicción es una enfermedad para la cual actualmente no se cuenta con una terapia farmacológica. El docente puede utilizar el ejemplo de la morfina para ejemplificar una droga con valor terapéutico cuyo uso está restringido por su fuerte potencial adictivo.

Los estudiantes se aproximarán al genoma humano, con la finalidad de discutir y entender el enorme potencial terapéutico que abre su conocimiento. El docente puede utilizar ejemplos de terapia génica, investigados por los estudiantes, para discutir su importancia y su potencial como herramienta terapéutica, en la que hoy se cifran grandes expectativas.

Finalmente, se pretende que durante su aprendizaje de la farmacología alumnas y alumnos mejoren su capacidad para elaborar nuevos conceptos y que puedan integrarlos en un sistema coherente de conocimientos. También es un objetivo importante que utilicen diversas fuentes de información y aprendan a discriminar mejor acerca de su fiabilidad, que interpreten gráficos y esquemas y que, en definitiva, crezcan como personas y sean capaces de usar en nuevos contextos los conocimientos previamente adquiridos.

## Actividad 1

---

**Discuten el concepto de droga o fármaco, con el objetivo de distinguirlos por su valor terapéutico.**

### Ejemplo 1

Se confrontan con diversos medicamentos de uso común, indagan acerca de su estructura, origen y modo de acción.

### Procedimiento

El docente propone como tarea que cada alumno o alumna busque en el botiquín de su casa los medicamentos que se consumen y para cada uno de ellos realice lo siguiente:

- indague acerca de la estructura química de sus componentes,
- los clasifique según su origen, natural o sintético,
- los clasifique según su acción terapéutica,
- averigüe la composición de la droga principal indicada en su formulación.

### Ejemplo 2

Alumnas y alumnos clasifican drogas y fármacos basándose en ejemplos.

### Procedimiento

El docente propone a los estudiantes debatir:

- Qué idea o concepto tienen de una droga o fármaco.
- Les propone la pregunta ¿Qué es una droga? y propone variadas respuestas que los estudiantes debaten, aceptándolas o rebatiéndolas e intentando fundamentarlas:
  - la aspirina es una droga
  - la penicilina es una droga
  - las drogas son aquellas tabletas que compramos en la farmacia
  - drogas son el LSD y la cocaína.

- El docente señala que en estos casos no resulta complicado definir una droga o fármaco, pero que hay otros ejemplos que resultan menos claros:

Cuando se administra vitamina C como droga para tratar el escorbuto, ¿es lo mismo cuando se toma en el jugo de naranja?

Los estudiantes debaten e intercambian opiniones y al término de ellas el docente señala que en este caso la vitamina C es parte de los suplementos alimenticios.

El profesor o profesora propone el caso de las hormonas:

¿Son secreciones internas, o drogas?

- Los estudiantes indagan y debaten.
- El docente señala que en el metabolismo normal son secreciones internas, pero se consideran drogas cuando se suministran para suplir una deficiencia.

Finalmente, el profesor o profesora propone el caso de los agentes químicos que se usan como inductores de sueño, ¿qué carácter tienen si se ingieren en una dosis excesiva?

- Alumnas y alumnos debaten y el docente aclara que en ese caso no cumplen el fin al que están destinados y pueden convertirse en agentes tóxicos e, incluso, producir la muerte.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que para la realización del ejemplo 1 el docente oriente a los estudiantes para que accedan a diferentes fuentes de información que pueden ser útiles para el desarrollo de esta actividad. Entre ellas mencionará las siguientes fuentes bibliográficas:

- Índice Merck (Merck Index), que contiene las estructuras y fuentes de obtención de diversas drogas
- Farmacopea
- Farmacología Básica y Clínica
- Vademécum (catálogos especializados de medicamentos)

Además, es importante que el profesor informe acerca de los sitios web:

**www.ispch.cl**, sitio que corresponde al Instituto de Salud Pública de Chile y que dispone de información sobre diferentes medicamentos.

**www.infomedicamento.net**

**www.redfarmaceutica.com**

Para acceder a estos materiales en su localidad es importante recomendar a los alumnos y alumnas que se dirijan al Químico Farmacéutico encargado de la farmacia local.

En el desarrollo del ejemplo 2 es importante que el docente oriente la discusión de los conceptos de droga o fármaco hacia su definición desde el punto de vista terapéutico, vale decir:

Un agente químico se convierte en una droga o fármaco cuando es administrado a los seres humanos para modificar algún proceso fisiológico o bioquímico, con el propósito de prevenir, tratar o curar un padecimiento.

## Actividad 2

---

### Se informan sobre las fases previas a la venta de un medicamento.

#### Ejemplo

Indagan acerca de las fases de estudio necesarias para la comercialización de un medicamento.

#### Procedimiento

- El docente introduce el tema e invita a los estudiantes a debatir:
- qué etapas piensan que ocurren en la comercialización de un medicamento;
- creen que ellas son suficientes o debiese haber otras distintas y/o adicionales;
- qué entienden por un estudio toxicológico y cómo creen que se lleva a cabo.

Los estudiantes indagan sobre los requisitos exigidos para que una droga y un producto natural ingresen como medicamento al mercado.

- Se informan acerca de los estudios toxicológicos y debaten su importancia.
- Debaten sobre los productos naturales y sintéticos utilizados como medicamentos y si productos naturales o fármacos derivados de ellos son inocuos o menos perjudiciales que los sintéticos.
- Investigan con cierto detalle el caso de la talidomida como ejemplo de una droga retirada del mercado por sus efectos tóxicos:
  - cuándo y por qué ocurrió el retiro de dicha droga.
  - cómo se explica que dichos efectos hayan pasado desapercibidos o hubo ocultamiento de información a los médicos que la recetaron a sus pacientes.

- qué pueden decir sobre las consecuencias médicas, sociales y psicológicas para la vida de los seres humanos que nacieron bajo los efectos tóxicos de esa droga y para sus familias.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

El objetivo de esta actividad es que los alumnos y alumnas comprendan que para el ingreso de un medicamento al mercado se requiere de un amplio estudio, teniendo particular importancia los estudios toxicológicos.

Es importante que los estudiantes se informen apropiadamente y debatan, apoyados por el docente, sobre el tipo de estudios que son necesarios para que se autorice la venta de un medicamento.

El caso de la talidomida es particularmente instructivo, ya que a partir de esa experiencia se establecieron controles más extensos y rigurosos y cambiaron las exigencias para el desarrollo e ingreso de nuevas drogas al mercado.

En esta actividad es importante que el docente dirija el debate en torno a la visión generalizada que “lo químico” es sinónimo de pernicioso, artificial y nocivo para la salud, a diferencia de “lo natural” que se interpreta como beneficioso, deseable y saludable. Los estudiantes podrán proponer ejemplos de productos o sustancias de origen natural que son dañinos (cicuta, hongos venenosos, alcaloides, mariscos contaminados por fuentes naturales como la marea roja, etc.) y se convencerán que este es un “argumento” muy débil, aunque sea tan frecuentemente utilizado para alabar las bondades de un producto.

Es importante que el profesor o profesora enfatice que desde el punto de vista de la salud no hay agentes químicos que sean absolutamente inocuos o absolutamente dañinos y su efecto depende de la dosis y que es científicamente insostenible la creencia generalizada que los llamados productos naturales no son agentes químicos y que son inocuos.

Es también importante que los alumnos y alumnas perciban que la automedicación es una mala costumbre que puede tener fatales consecuencias.

Algunas fuentes de información que pueden ser útiles para el desarrollo de esta actividad son las siguientes:

- En relación a los requisitos para el ingreso de un medicamento al mercado:  
**[www.fda.gov](http://www.fda.gov)**, sitio que corresponde a la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos,  
**[www.ispch.cl](http://www.ispch.cl)**, sitio del Instituto de Salud Pública de Chile.
- Referido a estudios toxicológicos se puede consultar  
**[www.iqb.es/CBasicas/Farma/Farma05/Tox/Tox01.htm](http://www.iqb.es/CBasicas/Farma/Farma05/Tox/Tox01.htm)**, en donde se describen los diferentes estudios toxicológicos de una forma comprensible para todo lector.
- Información sobre la talidomida,  
**[www.grumenthal.com/international/spanish/GRT\\_c\\_1\\_4bb.htm](http://www.grumenthal.com/international/spanish/GRT_c_1_4bb.htm)**, sitio sostenido por la empresa farmacéutica que lanzó la talidomida al mercado. Los siguientes sitios contienen una historia sobre sus efectos:  
**[www.nacersano.org/BibliotecaDeSalud/informativas/talidomida.htm](http://www.nacersano.org/BibliotecaDeSalud/informativas/talidomida.htm)**  
**[www.medicos-municipales.org.ar/bts0300.htm](http://www.medicos-municipales.org.ar/bts0300.htm)**

### Actividad 3

---

**Se informan acerca de los factores que inciden en la acción de una droga, particularmente su concentración.**

Ejemplo

Debaten sobre los procesos que determinan la concentración de una droga en su sitio de acción después de la administración de un medicamento.

Procedimiento

- El docente explica que el área de la farmacología que estudia los efectos del organismo sobre los agentes químicos recibe el nombre de farmacocinética.
- Los estudiantes debaten sobre qué procesos son importantes en la acción de una droga.
- El docente los invita a reflexionar y les pregunta:
- ¿qué es necesario que ocurra para que una droga actúe sobre el organismo?
- ¿le sucede algo a la droga en los procesos metabólicos?
- ¿se elimina la droga o simplemente es asimilada como un nutriente o eliminada sin cambio?
- ¿cómo y a través de qué órganos o mediante qué procesos se elimina la droga?

Los estudiantes debaten acerca de los factores que determinan la concentración de una droga en su sitio de acción.

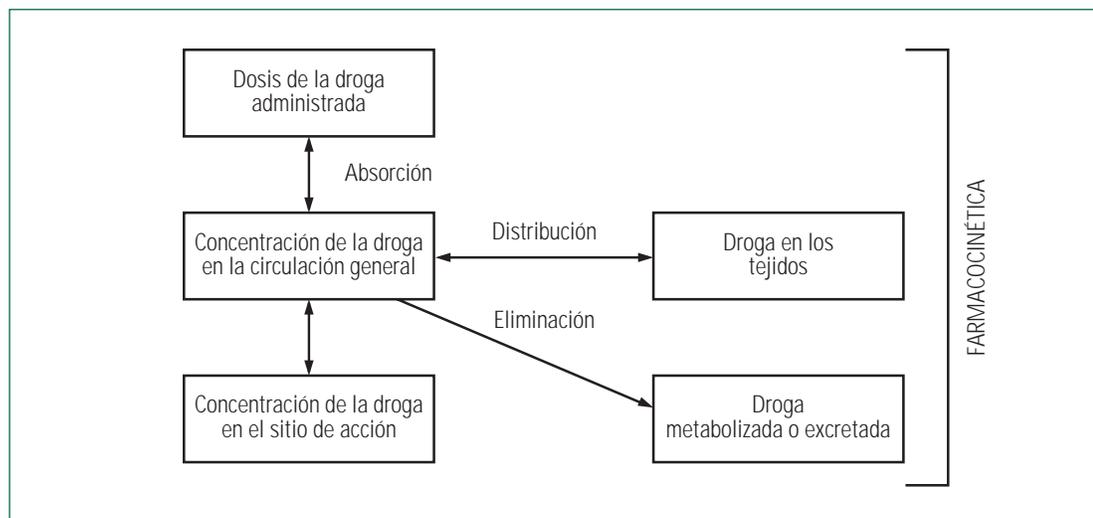
- El docente les da pistas sobre los procesos que inciden sobre la concentración de la droga en su sitio de acción: absorción, distribución, biotransformación y eliminación.
- Debaten en torno a lo que se entiende por absorción y de qué factores depende.
- Indagan acerca de si droga o fármaco es lo mismo que medicamento.
- El docente precisa dichos conceptos e invita a los estudiantes a dar ejemplos de drogas y medicamentos, pudiendo utilizar para ello medicamentos que los estudiantes encontraron en sus hogares.
- Debaten acerca de las formas farmacéuticas de medicamentos y de las vías de administración que conocen.
- El profesor pregunta cómo llega una droga ya disuelta al torrente circulatorio.

Los estudiantes debaten e intercambian opiniones (*Ver indicaciones al docente*).

- Dibujan en sus cuadernos los envases de jarabes, cápsulas, comprimidos, tabletas etc. correspondientes a cuatro medicamentos encontrados en casa y los rotulan claramente.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

La farmacocinética estudia los procesos de absorción, distribución, biotransformación y excreción de las drogas. El análisis cuantitativo de estos procesos permite conocer la concentración de la droga en su sitio de acción. Puede ser muy útil analizar junto con los estudiantes el siguiente esquema:



Para discutir el proceso de absorción se puede usar los esquemas contenidos en el programa de Biología de Primer Año Medio, pág. 39 y 40.

Es importante que el docente defina la absorción de una droga como el proceso de transporte de la droga, esto es, del principio activo del medicamento, desde el lugar de administración hasta la circulación general.

Es esencial que el profesor o profesora mencione que, en relación a los factores que determinan la absorción de una droga, son determinantes sus propiedades físicoquímicas (solubilidad) y la formulación farmacéutica, esto es, la forma en que se presenta el medicamento que contiene la droga, ya sea sólido, líquido, crema, etc.

La formulación farmacéutica está determinada por la vía de administración.

Debe ser enfatizado que por lo general medicamento y droga no son sinónimos: un medicamento contiene uno, o menos frecuentemente varios, fármacos o drogas pero también incluye otros ingredientes que carecen de actividad farmacológica, considerados como componentes inertes desde ese punto de vista (edulcorantes, saborizantes, colorantes, sustancias aglomerantes, etc). Así por ejemplo, una droga ácida puede contener componentes alcalinos que disminuyan su acción irritante sobre las mucosas gástricas e intestinos.

El docente incentivará a los estudiantes para que consideren la totalidad de vías de administración de los medicamentos y sus formulaciones más comunes:

Vía de administración	Formulación
- Oral	comprimidos, cápsulas, jarabes
- Sublingual	comprimidos
- Rectal	supositorios
- Parenteral o intravenosa	soluciones inyectables
- Tópica	soluciones, cremas y ungüentos
- Inhalatoria	aerosoles
- Intramuscular	soluciones inyectables

Respecto de cómo llega una droga a su sitio de acción es importante que el docente lo lleve a discusión en términos de lo siguiente:

- Los líquidos del cuerpo actúan como solventes para la gran mayoría de las drogas y éstas alcanzan su sitio de acción disueltas en el agua que baña las células. A este proceso se le denomina distribución.
- Cuando las drogas ingresan al organismo a través de las vías de administración (excepto la vía i.v.), deben atravesar varias membranas semipermeables antes de llegar a la circulación general. Las drogas atraviesan las barreras biológicas de la misma manera que lo hacen las distintas moléculas que participan en el metabolismo celular.
- Las células intercambian diversas especies químicas con el medio a través de la difusión pasiva, la difusión facilitada, el transporte activo y la endocitosis o pinocitosis.

Dada la importancia del agua en la distribución de una droga el docente deberá considerar la masa total de agua en el cuerpo:

	Porcentaje (de la masa corporal)
Adultos	59 %
Niños de 2-7 años	63 %
Niños de más de 6 meses	72 %
Recién nacidos - más de 100 días	77 %

Un ejercicio útil será, por ejemplo, calcular el volumen de agua de un individuo de 70 kg (R: 41,6 L)

Con esta información los alumnos pueden calcular su propio volumen de agua a partir de su masa corporal.

#### Actividad 4

**Indagan cómo se distribuye el líquido en el cuerpo humano y qué importancia posee dicho fenómeno para la farmacología.**

##### Ejemplo

Debaten sobre la distribución del volumen de agua en el cuerpo y el volumen aparente de distribución.

##### Procedimiento

- El docente pregunta a los estudiantes cómo piensan que está distribuido el volumen de líquido en los distintos compartimentos, y qué entienden por un compartimento.
- Cada alumno calcula el líquido extracelular en su organismo (plasma, líquido intersticial, otros). (*Ver indicaciones al docente*).
- Los alumnos determinan para un adulto de 80 kg el volumen de distribución de dos drogas, una hidrosoluble como ácido acetilsalicílico, que no puede ingresar a las células, y una liposoluble que sí puede penetrar la pared celular (*Ver indicaciones al docente*).
- Los estudiantes indagan acerca de qué es el volumen aparente de distribución de una droga y cómo se calcula.
- Anotan sus cálculos y conclusiones en sus cuadernos.

##### INDICACIONES AL DOCENTE

Con respecto a la distribución de líquido en los distintos compartimentos es importante que el docente discuta con los estudiantes los siguientes datos:

Tipo de líquido	Porcentaje de la masa corporal
Intracelular total	33 %
Extracelular total en adultos	27 %
Extracelular total en recién nacidos	37 %
Extracelular total en niños prematuros	45 %

Aquí es importante considerar que en un niño prematuro hay una gran cantidad de líquido extracelular (más de un 20% comparado con un neonato). De allí que la salud de un niño prematuro esté seriamente comprometida ante cuadros de deshidratación (diarreas, vómitos, fiebre alta).

Es importante que el docente entregue datos y los discuta en relación a cómo está distribuido el líquido extracelular en adultos:

Líquido extracelular	Porcentaje de la masa corporal
Plasma	4 %
Líquido intersticial	20 %
Otros (tracto gastrointestinal, líquido céfalo-raquídeo etc)	2 %

Con esta información cada alumno podrá calcular el volumen de sus compartimentos extracelulares. (Recordar que el líquido corporal está formado mayoritariamente por agua, de modo que la masa de líquido en kg es numéricamente igual al volumen en L).

Con respecto al volumen de distribución de una droga es importante que el docente distinga entre drogas hidrosolubles y liposolubles, ya que la solubilidad de la droga determina su volumen de distribución: una droga cargada en el organismo y que no puede entrar a la célula tendrá un volumen de distribución equivalente al volumen extracelular, en un individuo de 70 kg es de aproximadamente 18 L. En cambio, una droga liposoluble que puede entrar a la célula tendrá un volumen de distribución de aproximadamente 40 L.

En relación al volumen aparente de distribución de una droga y a su cálculo, es importante que el docente explique claramente lo siguiente: el volumen aparente de distribución corresponde a un valor calculado. Si se considera la relación entre masa (m), volumen (V) y concentración (C).

$$C = m/V$$

Se tiene que conociendo el valor de la masa de droga administrada y de la concentración es posible calcular el volumen aparente:

$$V = m/C$$

la masa  $m$  corresponde a la dosis administrada ( $D_0$ ),  $C_0$  es la concentración plasmática inicial (a tiempo cero), suponiendo que existe una distribución instantánea de la droga.

Si se conoce la dosis inicial (cantidad de droga administrada) y se calcula la concentración de la droga a tiempo cero, se puede calcular el volumen teórico de distribución de la droga.

$$V_d = D_0 / C_0$$

Los siguientes ejercicios pueden ser útiles para que el docente adapte ejercicios análogos para sus estudiantes:

**Ejercicio 1**

Calcular el volumen de distribución aparente de una droga administrada por vía intravenosa en una dosis de 400 mg, cuya concentración plasmática a tiempo cero es de 8 mg/100 mL.

$$V_d = 400 \text{ mg} / 80 \text{ mg/L} = 5 \text{ L}$$

Es necesario que el docente enfatice que numerosas drogas tienen un volumen de distribución aparente mayor que el volumen total de agua corporal. En estos casos la mayor parte de la droga se encuentra unida o secuestrada en los tejidos. Para ilustrar ello servirá el siguiente ejercicio.

**Ejercicio 2**

Calcular el volumen aparente de distribución del antibiótico trimetoprim, administrado en una dosis de 80 mg, cuya concentración plasmática es de 0,615 mg/L.

$$V_d = 80 \text{ mg} / 0,615 \text{ mg/mL} = 130 \text{ L}$$

Según se podrá apreciar, el  $V_d$  del trimetoprim es 3 veces mayor que el volumen total de líquidos de un individuo de 70 kg, lo que indica que la mayor parte de la droga, por su liposolubilidad, sale del plasma y se concentra en los tejidos.

Independientemente de estas paradojas, conocer el  $V_d$  es importante dado que este volumen no es constante, hay variación del volumen de líquidos en adultos, niños, ancianos. Además, aquél se ve afectado en diferentes situaciones patológicas, por ejemplo, un paciente en estado de shock presenta una menor irrigación de sus tejidos, lo cual produce una disminución del  $V_d$ , por lo tanto la concentración de la droga en el plasma es mayor que la calculada.

Para explicar más claramente el concepto de volumen de distribución aparente, se puede utilizar también el siguiente ejercicio:

**Ejercicio 3**

El cálculo del volumen de agua contenido en una piscina rectangular resulta sencillo si conocemos sus dimensiones. Así si ella mide 8 m de largo, 2,5 m de ancho y la altura que alcanza el agua es de 3 m, se calcula el volumen de agua en 60 L.

En cambio, no resulta tan sencillo calcular el volumen de agua contenido en una piscina de forma irregular como la que se muestra en la siguiente imagen.



El método que se describe a continuación fue utilizado para medir el volumen de agua contenida en la piscina:

1. Se agregó una masa conocida de un colorante altamente soluble en agua, por ejemplo, 100 g de azul de Evans.
2. Se esperó que se disolviera y distribuyera homogéneamente.
3. Se tomó una muestra de volumen conocido, 10 mL, de la solución del agua coloreada.
4. Se determinó la concentración de colorante mediante el llamado método colorimétrico. De ella resultó 8 mg/10 mL, que corresponde a 0,8 g/L.
5. Como se habían agregado 100 g de colorante el volumen de la piscina resulta ser

$$100 \text{ g} / (0,8 \text{ g/L}) = 125 \text{ L}$$

Si se supone ahora que esta piscina de forma irregular tiene las paredes porosas y que sus poros retienen colorante, resultará que al realizar el procedimiento anterior se encontraría que la muestra de 10 mL contiene 5 mg (0,5 g/L) y al calcular nuevamente el volumen se calculará que esto corresponde a un volumen de 200 L. Este mismo fenómeno se observa cuando una droga es altamente liposoluble y se acumula en el tejido adiposo.

Una pregunta frecuente de los estudiantes es qué determina la duración del efecto farmacológico de una droga, ya que las personas que están sometidas a un tratamiento deben tomarse el medicamento con cierta periodicidad.

Es importante que sepan que la duración del efecto de una droga depende de la capacidad del organismo para eliminarla (excreción renal) y de transformarla mediante diferentes reacciones químicas, catalizadas por enzimas, en productos llamados metabolitos, este proceso recibe el nombre de metabolismo o biotransformación.

Las sustancias tóxicas son también excretadas en la orina y metabolizadas en el hígado.

Otra pregunta frecuente se refiere a dónde se lleva a cabo la biotransformación.

El proceso de biotransformación de muchas sustancias se lleva a cabo en el hígado y en la mayoría de los casos produce metabolitos farmacológicamente inactivos que no tienen el efecto terapéutico, sin embargo, se pueden generar compuestos tóxicos; este es el caso de la talidomida.

### Actividad 5

---

#### **Debatan acerca del proceso de biotransformación de las drogas.**

##### Ejemplo

Indagan sobre la biotransformación de la fenacetina.

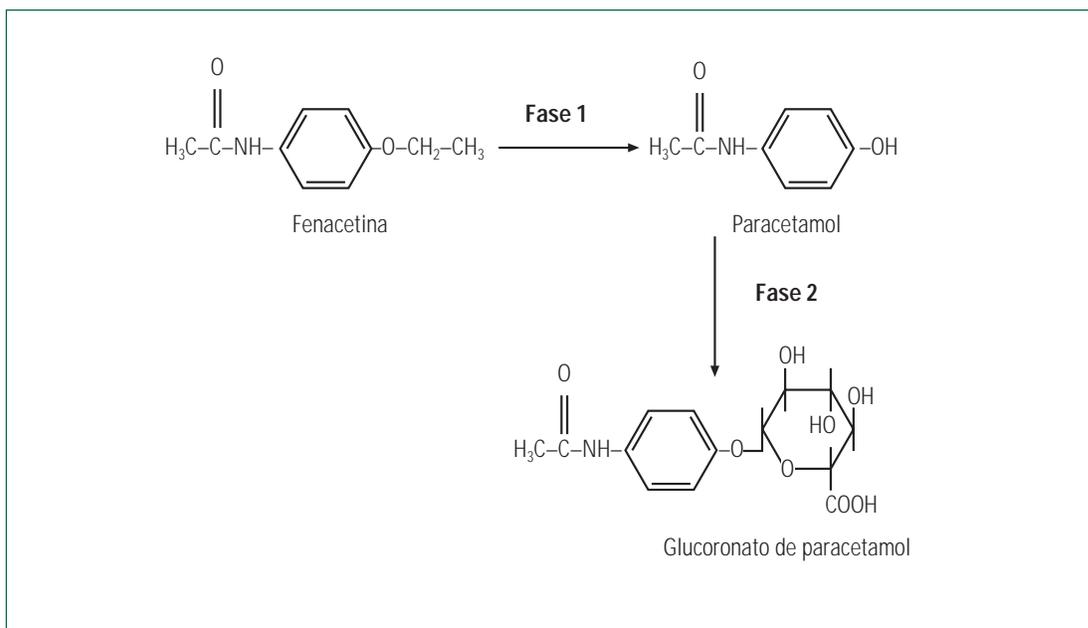
##### Procedimiento

Se sigue la siguiente secuencia metodológica:

- el docente pregunta a los alumnos cómo se imaginan una biotransformación;
- los estudiantes se informan sobre la fenacetina, en particular su estructura química y grupos funcionales;
- el docente señala que la biotransformación se lleva a cabo a través de reacciones de degradación o fase 1 y de síntesis, o fase 2;
- los estudiantes debaten sobre el significado de los términos "degradación" y "síntesis";
- los estudiantes indagan acerca del metabolismo de la fenacetina utilizando internet y algunas de las referencias bibliográficas dadas anteriormente;
- exponen ante el curso lo que han logrado indagar sobre el proceso de biotransformación;
- el docente aclara puntos que estén confusos y los estudiantes resumen en sus cuadernos aquellos más importantes en los procesos descritos.

## INDICACIONES AL DOCENTE

En la biotransformación de la fenacetina se distinguen, de manera general, los siguientes procesos:

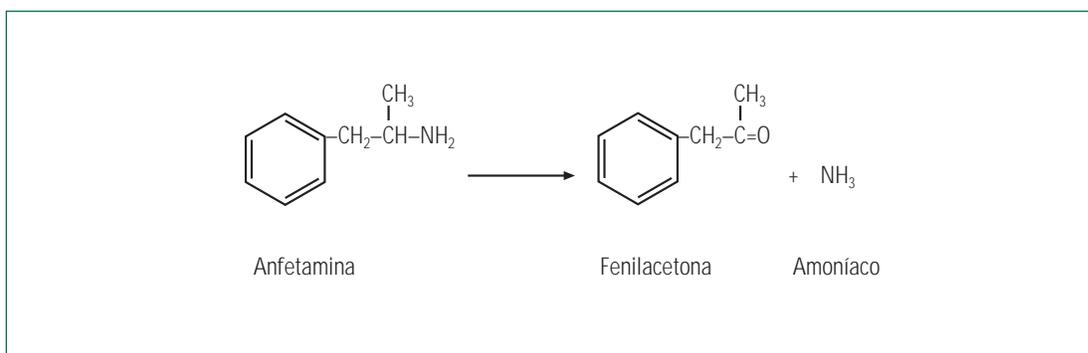


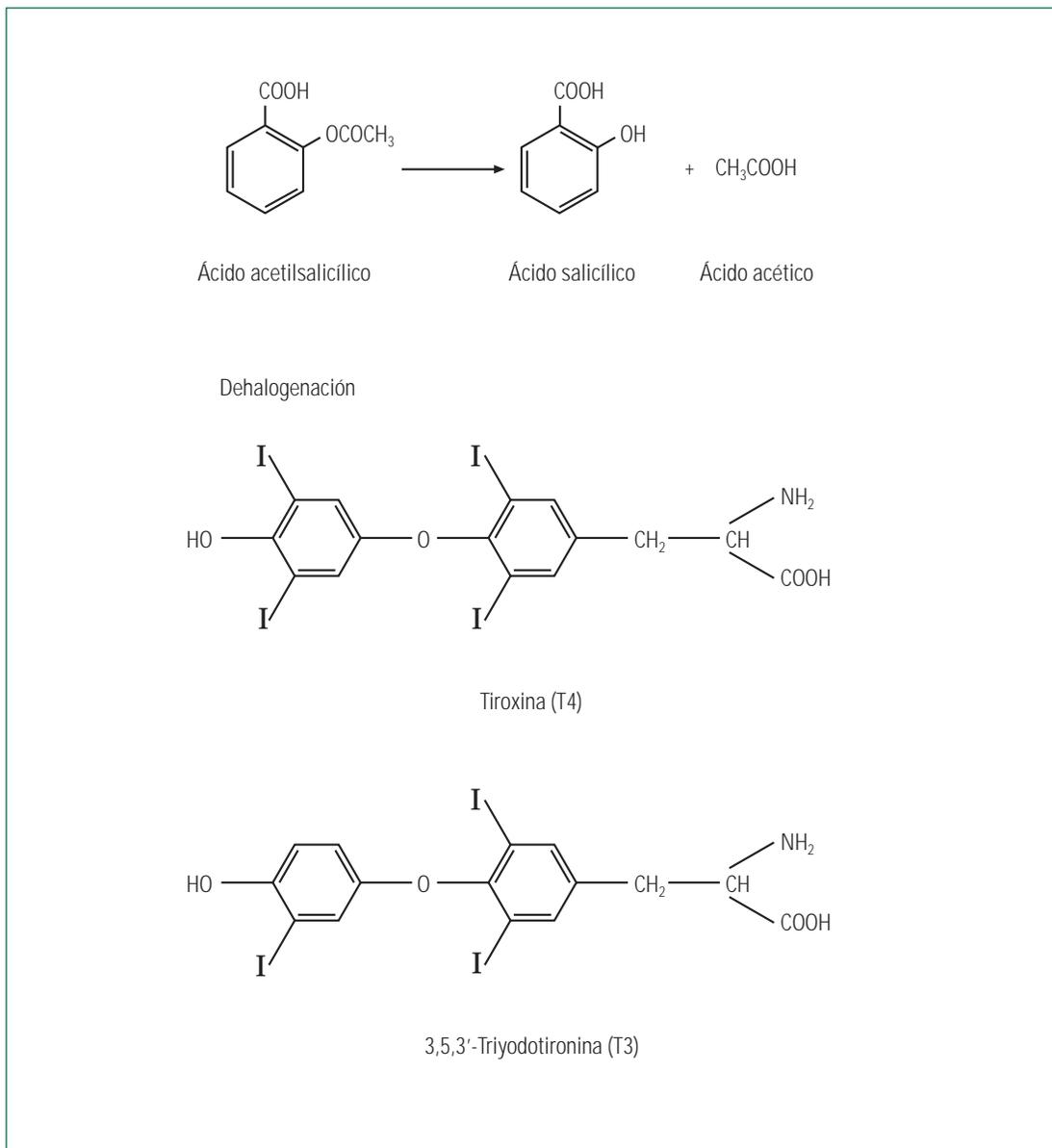
Se observa que en la fase 1 ocurre una hidrólisis con pérdida de un grupo etilo, mientras que en la fase 2 se produce una reacción de síntesis.

Las principales reacciones de la fase 1 son:

- Oxidación
- Hidrólisis
- Reducción
- Dehalogenación

Ejemplos de ellas son las siguiente reacciones de degradación:





Las reacciones de fase 2 o de síntesis son, con algunos ejemplos:

- Glucuronidación; adrenalina, fenacetina.
- Acetilación; isoniazida, sulfonamidas.
- Adición de glicina; ácido salicílico
- Metilación; adrenalina, noradrenalina, corticoides.
- Adición de ácido sulfúrico; alcoholes, testosterona
- Esterificación; aspirina.

## Actividad 6

### Indagan sobre la rapidez de absorción de una droga.

#### Ejemplo (*demostrativo*)

Experimentan para determinar la rapidez de la absorción de yoduro de potasio administrado por vía oral.

#### Procedimiento

El docente explica que experimentarán para determinar la rapidez con que se absorbe el yoduro de potasio, pero que ello en caso alguno podrá ser realizado por un estudiante que sea alérgico al yodo. (*Ver indicaciones al docente*)

- El docente dispone las siguientes disoluciones y reactivos:
  - Solución de almidón
  - Acido nítrico diluido (10%)
  - Yoduro de potasio (calidad farmacopea)
  - Cápsulas de gelatina
  - Tubos de ensayo
- Se instalan en una gradilla 10 tubos de ensayo con una mezcla de la solución de almidón y ácido nítrico (5:2).
- Supervisados por el docente pesan 150 mg de yoduro de potasio y los introducen en una cápsula de gelatina.
- Un alumno o el docente traga con agua la cápsula que contiene yoduro de potasio y toma otro trago de agua para lavar la boca, vertiendo el agua en el primer tubo.
- Los estudiantes observan si se produce algún cambio y toman nota. (Deberán constatar que no se produce coloración azul).
- ¿Qué concluyen de este primer ensayo?
- ¿Qué papel desempeña el ácido nítrico en la mezcla?
- Esperan 2 minutos y el estudiante que ha hecho el ensayo evacua la saliva en el siguiente tubo de ensayo y así se repite cada dos minutos hasta que aparezca una coloración azul. (Para estimular la secreción de saliva pueden utilizar goma de mascar).

- ¿Qué conclusión obtienen del último ensayo a base de la coloración observada?
- ¿Cuánto demoró en aparecer yoduro en la saliva?

Los estudiantes registran en sus cuadernos los detalles del experimento y dibujan el arreglo o dispositivo utilizado.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

**!** Es importante e imprescindible que este ensayo sea realizado sólo por el docente o por un alumno(a) que tenga absoluta certeza de no ser alérgico al yodo.

En la mayoría de los casos las personas ignoran si son alérgicos, simplemente porque hasta entonces no han tenido contacto con yodo. La información correspondiente deberá provenir por escrito de una fuente responsable: los apoderados o mejor aun, de un médico.

Al estado actual de la medicina no hay ensayos para esa reacción alérgica que sean fiables, rápidos y que puedan ser realizados en el colegio, de manera que de existir duda el docente deberá elegir otra actividad.

La saliva contiene aproximadamente 0,1  $\mu\text{g}$  de yodo en 1 mL (como yoduro), pero dicha concentración es muy pequeña y no da coloración en el ensayo con almidón.

No son conocidos con exactitud los requerimientos diarios de yodo, pero el consumo diario es de unos 150  $\mu\text{g}$ .

En emergencias producidas por accidentes nucleares se recomienda ingerir diariamente algunos miligramos de yodo en forma de una solución de yoduro de potasio, con el objeto de suplir las necesidades del organismo y reducir la asimilación del yodo radiactivo.

#### PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE ALMIDÓN

Se pesan 2 g de almidón y se agrega agua gota a gota hasta formar una pasta homogénea. Dicha pasta se diluye en 30 mL de agua y se agrega poco a poco a 1 L de agua hirviendo; se deja en ebullición por 2 o 3 minutos más y se deja enfriar.

El almidón es un producto polimérico que sirve para almacenamiento de energía en algunas especies vegetales como maíz, trigo, arroz y tubérculos como la papa. Está constituido por el polímero lineal amilosa (27 %) y el resto es amilopeptina, un polisacárido ramificado. Dichos polímeros son solubles en agua hirviendo, dando lugar a una solución coloidal que al enfriarse se gelatiniza. A diferencia de otros polisacáridos, el almidón no se hidroliza en solución acuosa pero sí en presencia de ácidos, dando lugar a una mezcla de amilosa y amilopeptina. Las enzimas específicas  $\alpha$ - y  $\beta$ -amilasa y la amiloglucuronidasa también hidrolizan al almidón formando unidades de maltosa y glucosa respectivamente.

#### ACERCA DE LA REACCIÓN QUE PERMITE DETECTAR LA PRESENCIA DE YODO EN SALIVA

El almidón en presencia de ácido nítrico se hidroliza dando lugar a amilosa y amilopeptina. La amilosa reacciona con el yodo formando un complejo de adsorción que produce una coloración azul intensa, permitiendo detectar la presencia de yodo en la saliva. La reacción de la amilosa con el yodo es la base de los métodos de cuantificación por titulación yodimétrica utilizados en el análisis químico cuantitativo.

El almidón se utiliza en la industria alimentaria como alimento y aditivo espesante, en la industria farmacéutica como compuesto inerte en preparaciones farmacéuticas sólidas, y en el tratamiento de las intoxicaciones producidas por yodo. (No es efectivo en casos de alergia, la que se puede producir por ingestión de cantidades muy pequeñas de yodo o derivados).

### Actividad 7

#### Debaten sobre la velocidad de absorción de una droga.

##### Ejemplo

Debaten, utilizando una simulación, acerca de la velocidad con que se absorbe una droga.

##### Procedimiento

- El docente explica que se usará un modelo farmacocinético simple, que considera al organismo como un solo compartimiento.
- Los estudiantes debaten si esta aproximación se ajusta a la realidad e intentan responder ¿cuántos y cuáles son los compartimientos que deberíamos considerar?
- El docente explica que en este modelo se supone que la droga se distribuye instantánea y homogéneamente en todos los fluidos y tejidos del organismo.
- Los estudiantes debaten sobre si este modelo da debida cuenta que algunas drogas son liposolubles, mientras que otras son hidrosolubles.
- El profesor describe las partes del dispositivo experimental que utilizarán y que simula un modelo farmacocinético de un compartimiento: (*Ver figura inferior*).

Recipiente A : representa el sitio de absorción (tubo digestivo, tejido subcutáneo, tejido muscular, etc.).

Recipiente B : representa el compartimiento de distribución (todos los líquidos y tejidos del cuerpo).

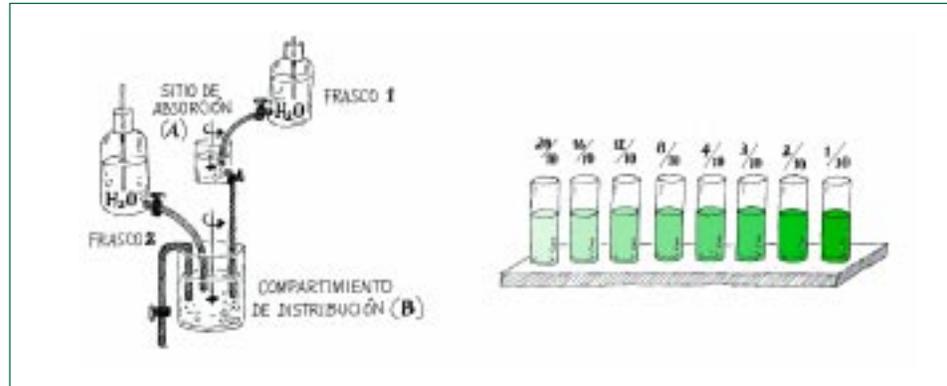
Frascos 1 y 2 : su función es mantener constantes los volúmenes de líquido en A y B, respectivamente.

Conexiones : tubos de vidrio y mangueras.

Llaves de paso : pinzas regulables.

Agitadores : son varillas de vidrio que sirven para mantener la homogeneidad de las soluciones contenidas en los recipientes A y B.

Los estudiantes, distribuidos en grupos, trabajan con el sistema de la siguiente forma:



- En el recipiente A colocan 20 mL de agua y, en el recipiente B, 80 mL.
- Mediante gravedad dejan pasar agua desde A hacia B con un flujo de 8 mL/min, fijándolo con ayuda de una pinza regulable.
- Hacen escurrir agua hacia el exterior con un flujo de 18 mL/min, regulándolo con una pinza.
- Desde los frascos 1 y 2 hacen pasar agua a los recipientes A y B, regulando los flujos con pinzas, de manera de mantener constantes los volúmenes en ambos recipientes.
- Una vez establecidos los flujos señalados (8 mL/min flujo de A hacia B y 18 mL/min para el flujo de eliminación desde B hacia el exterior), agregan al recipiente A un colorante (por ejemplo, azul de metileno) que simulará la droga y observan cómo varía el color en A y B a medida que transcurre el tiempo.
- Aunque ello involucra una pequeña alteración de las condiciones en que opera el sistema, los estudiantes pueden extraer cada minuto muestras pequeñas de A (0,2 mL), vaciándolas en tubos de diámetro reducido y ordenarlas secuencialmente para su observación posterior.
- Preparan una serie de dilución de la solución inicial en una progresión (20/10, 16/10, 12/10, 8/10, 4/10; 3/10, 2/10, 1/10) y comparan su coloración con las de las 6 primeras muestras tomadas anteriormente. Estiman las concentraciones en A a distintos tiempos y comparan los valores estimados visualmente con los calculados.

- Los estudiantes intentan comprender de qué modo, con el dispositivo anterior, se simuló una cinética de absorción y debaten acerca de la función de cada uno de los recipientes.
- El profesor o profesora explica cómo el dispositivo simula una cinética de absorción.
- Las alumnas y alumnos discuten el ejemplo (*Ver indicaciones al docente*).
- Indagan acerca de cómo calcular la concentración de la droga presente en el compartimiento A, recordando la relación entre masa (m), volumen (V) y concentración (C),

$$C = m/V$$

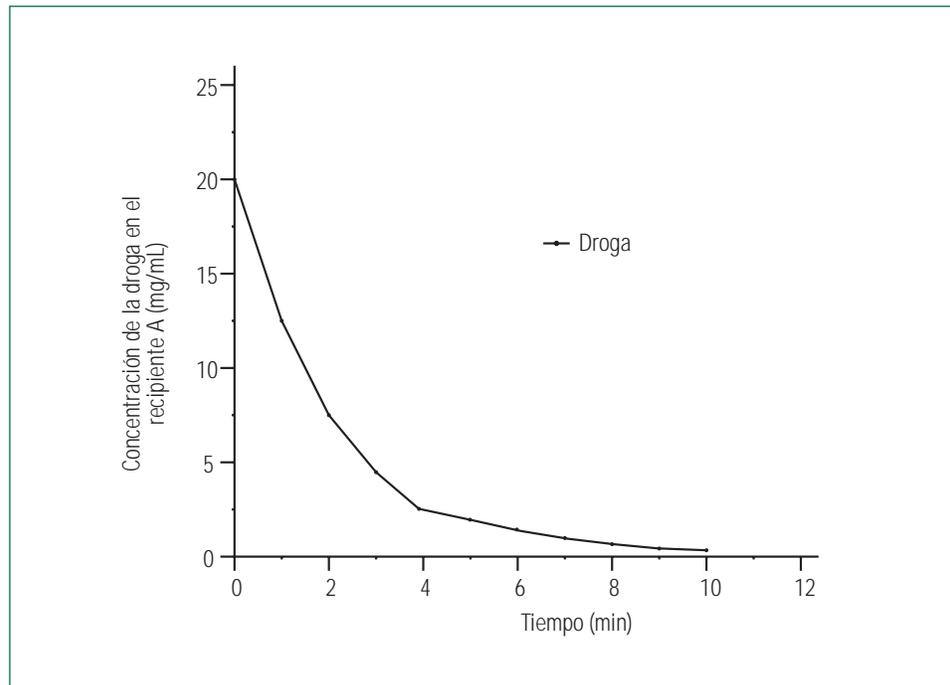
- A partir de la cantidad (masa) de droga presente en el recipiente A y de su volumen (20 mL) obtienen la concentración de la droga en el líquido contenido por dicho recipiente.
- Tabulan los valores de concentración de la droga en A, para cada tiempo, la velocidad con que se distribuye la droga (A→B) y la fracción porcentual de droga que pasa de A hacia B.

Dicha tabla deberá ser del siguiente tipo:

**Tabla 1. Absorción**

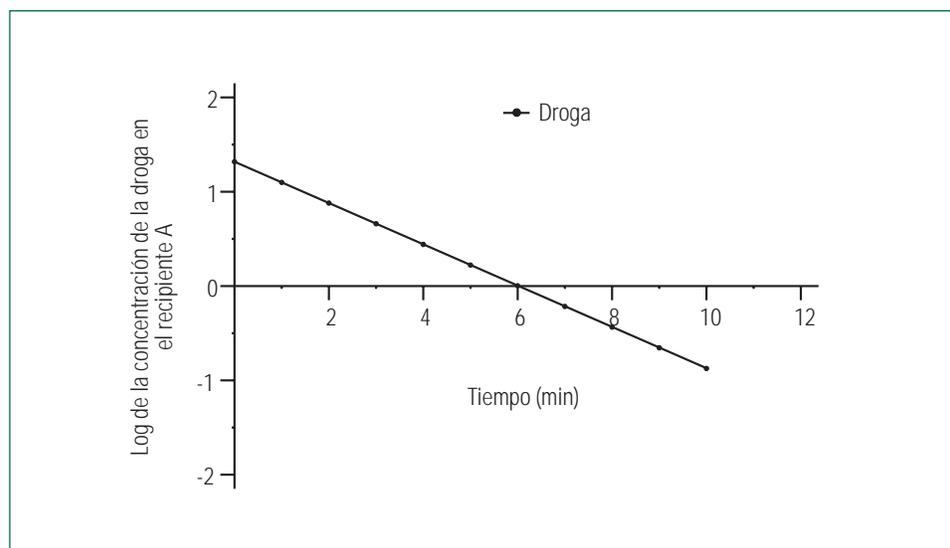
Tiempo (min)	Volumen recipiente A (mL)	Cantidad de droga en recipiente A (mg)	Concentración de droga (%)	Velocidad mg/min	Fracción de droga que pasa de A hacia B (%)
0	20	400	2,00		
1	20	240	1,20	160,0	40
2	20	144	0,72	96,0	40
3	20	86,4	0,432	57,6	40
4	20	51,8	0,259	34,6	40
5	20	31,1	0,155	20,7	40
6	20	18,7	0,0935	12,5	40
7	20	11,2	0,056	7,5	40
8	20	6,7	0,0335	4,5	40
9	20	4,0	0,020	2,7	40
10	20	2,4	0,012	1,6	40

- Expresan las concentraciones en A en mg/mL y grafican en un papel milimetrado los datos obtenidos de la concentración de droga a diferentes tiempos.



Independientemente de cómo se exprese la concentración ( mg/mL, g/L, %, etc.), al graficar los datos de concentración por unidad de tiempo obtendrán el mismo gráfico.

- Los estudiantes calculan el logaritmo de la concentración de la droga X en A (en mg/mL), tabulan los datos y grafican en papel semilogarítmico  $\log C_A$  vs tiempo.
- Analizan el gráfico obtenido, que debe ser de la forma:



- Los estudiantes analizan la recta obtenida e interpretan el significado del intercepto en Y (que corresponde al logaritmo de la concentración de la droga X a tiempo cero, por lo tanto el antilogaritmo de este valor corresponde a la concentración inicial de la droga X).
- Calculan el valor de la constante de absorción, que se puede obtener calculando la pendiente a partir del gráfico o bien despejando  $k_a$  de la siguiente ecuación:

$$\log C = \log C_0 - k_a t / 2,303 \quad k_a = 0,51/\text{min}$$

- Conociendo el valor de la constante de absorción, los estudiantes calculan el tiempo medio de absorción, ( $t_{1/2}$ ), que corresponde al tiempo requerido para absorber el 50% de la concentración de la droga. El  $\ln 2$  es 0,693.

$$t_{1/2} = \ln 2 / k_a = 0,693 / 0,51 = 1,36 \text{ min}$$

- Interpretan dicho valor de  $t_{1/2}$  en términos del ejemplo planteado.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

##### **MODELOS FARMACOCINÉTICOS A BASE DE COMPARTIMIENTOS**

Para desarrollar esta actividad y la siguiente es necesario que los estudiantes comprendan que para el análisis cuantitativo de los procesos de absorción, distribución, biotransformación y eliminación, la farmacocinética considera que el cuerpo humano está constituido por diferentes compartimientos.

Los compartimientos pueden ser definidos por el docente como espacios cuya existencia se postula para explicar la observación experimental que las drogas se distribuyen con diferentes velocidades en los distintos tejidos o fluidos del organismo.

##### **MODELO DE UN COMPARTIMIENTO**

El modelo farmacocinético más simple considera al organismo como un solo compartimiento. Este modelo supone que la droga se distribuye instantánea y homogéneamente en un compartimiento que representa todos los líquidos y tejidos del cuerpo. Este modelo es útil para el análisis farmacocinético de algunas pocas drogas, ya que no explica satisfactoriamente el curso temporal de los cambios de concentración en los distintos líquidos y tejidos que se observan con la mayoría de las drogas.

##### **MODELO DE DOS COMPARTIMIENTOS**

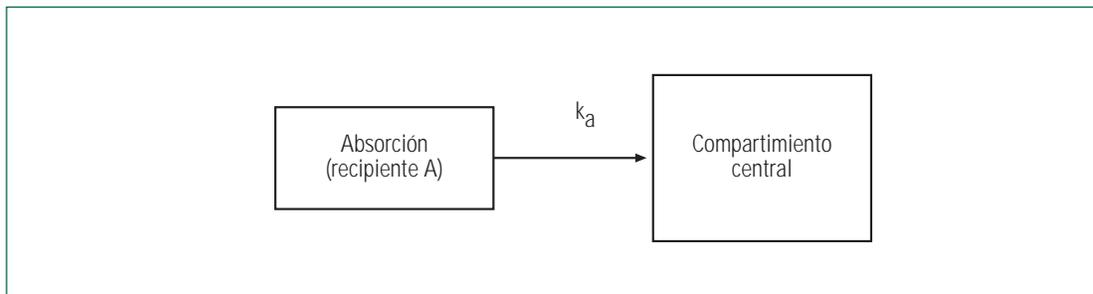
El modelo farmacocinético de dos compartimientos describe en forma bastante adecuada la farmacocinética de un gran número de drogas. Este modelo supone que el cuerpo está constituido por un compartimiento central que tiene un volumen relativamente pequeño y un compartimiento periférico con un volumen mucho mayor. Aun cuando estos compartimientos no corresponden necesariamente a entidades anatómicas específicas, el compartimiento central representa, para mu-

chas drogas, el volumen sanguíneo y el líquido extracelular de los órganos que presentan un elevado flujo sanguíneo como el corazón, el hígado, los pulmones, los riñones y el músculo durante el ejercicio. En cambio, el compartimiento periférico corresponde a los tejidos que tienen un flujo sanguíneo menor, como la piel, el músculo en reposo, el tejido adiposo etc.

#### **SIMULACIÓN DE UNA CINÉTICA DE ABSORCIÓN UTILIZANDO EL MODELO DE UN COMPARTIMIENTO**

Se considera que el recipiente A representa el sitio de absorción de la droga (estómago, tubo digestivo, tejido subcutáneo, tejido muscular, etc.).

Es importante que el docente aclare a los estudiantes que con el dispositivo experimental utilizado es posible simular los procesos de absorción que se desarrollan siguiendo una cinética de primer orden, lo que ocurre sólo si los volúmenes de los recipientes A y B se mantienen constantes.



Es importante que el docente explique en qué consiste una cinética de primer orden, ya que si bien los estudiantes tienen algunos conocimientos de cinética, no conocen en detalle lo que ello significa. (Ver más abajo).

Las siguientes consideraciones son importantes e ilustran aspectos cuantitativos del ejemplo: Suponiendo que se disuelven 400 mg de la droga X en 20 mL de agua contenidos en A (esto corresponde a una solución al 2% de la droga X) y se hace pasar esta solución hacia B con un flujo de 8 mL/min. Al mismo tiempo se hace pasar desde el frasco 1 agua a 8 mL/min, que se supone que se mezcla instantáneamente, para mantener constante el volumen de líquido en el recipiente A.

Si bien el volumen en el recipiente A no varía, la concentración de la droga irá disminuyendo en el tiempo. En efecto, transcurrido 1 min habrán salido de A 160 mg de la droga X (que corresponde a la cantidad de droga X contenida en 8 mL de la solución inicial de la droga). En el recipiente A quedarán 240 mg disueltos en 20 mL de agua. Esto significa que la concentración de la droga X disminuyó del 2 al 1,2%, es decir disminuyó en un 40%.

Durante el minuto siguiente, salen del recipiente A 96 mg (que corresponde a la cantidad de droga contenida en 8 mL de una solución al 1,2% de la droga X), quedando en el recipiente 144 mg disueltos en 20 mL de agua. La concentración de la droga X en el recipiente A bajó del 1,2% al 0,72%, es decir disminuyó en un 40% durante el segundo minuto. Siguiendo este procedimiento se puede calcular la disminución en el tiempo de la concentración de la droga X en el compartimiento de absorción.

**EXPLICACIÓN DE LA CINÉTICA DE PRIMER ORDEN**

En el ejercicio planteado se supone que el proceso de absorción sigue una cinética de primer orden.

El tratamiento riguroso de esta ley cinética debe ser evitado por el docente, ya que ello supera los conocimientos matemáticos de los estudiantes de este nivel.

La aproximación utilizada aquí sólo pretende proveer una base mínima cuantitativa para la comprensión de los fenómenos observados.

Como lo muestran los gráficos anteriores, el hecho que un proceso de absorción siga una cinética de primer orden significa que la cantidad (concentración) de la droga depositada en el sitio de absorción (recipiente A) decae a una velocidad que va disminuyendo a medida que decrece la cantidad (concentración) de la droga que aún no ha sido absorbida (que permanece en el recipiente A). En otras palabras, en cada unidad de tiempo se absorbe el mismo porcentaje de la cantidad de droga que permanece en el sitio de absorción (recipiente A). Estos procesos se pueden describir con la siguiente función matemática que recibe el nombre de ley de decaimiento y que corresponde también a la desintegración radiactiva (sólo que en ese caso no se refiere normalmente a concentraciones sino que al número de núcleos).

En forma aproximada se puede escribir la ecuación

$$\Delta C/\Delta t = -k_a C_o \quad (\text{Ec. 1})$$

que es exacta cuando  $\Delta t$  es muy pequeño (en esas condiciones  $\Delta C$  también es muy pequeño) y se dice que tiende a cero ( $\Delta t \rightarrow 0$ ).

$\Delta C$  es la fracción de la concentración de droga que desaparece del compartimento A en un lapso de tiempo  $\Delta t$  y  $k_a$  representa la constante de absorción (ya que la droga que desaparece de A tiene como único destino absorberse en B y corresponde al valor que adopta  $\Delta C/\Delta t$  cuando  $C_o = 1,0$ ).  $C_o$  representa la cantidad inicial de droga en el sitio de absorción a tiempo cero.

Por manipulación matemática de la ecuación anterior se obtiene:

$$C = C_o e^{-k_a t} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde  $e$  es la base del logaritmo natural.

Esta expresión nos permite calcular la concentración  $C$  de la droga en A, a cualquier tiempo, conociendo la concentración inicial  $C_o$  y la constante  $k_a$ .

Expresando la ecuación anterior en su forma logarítmica se obtiene:

$$\ln C = \ln C_o - k_a t \quad (\text{Ec. 3})$$

tomando el logaritmo en base 10 tenemos para la ecuación 2:

$$\log C = \log C_o - k_a t \log e \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\log C = \log C_o - k_a t/2,303 \quad (\text{Ec. 5})$$

Para verificar la comprensión de los alumnos el docente puede aplicar esta expresión al ejercicio realizado cuando  $t = 1,0$  min y luego estimular a los estudiantes para que la utilicen para otros tiempos.

$$\begin{aligned}C_o &= 0,02 \text{ g/mL} \\k_a &= 0,51 \text{ min}^{-1} \\ \log C &= \log 0,02 - 0,51 \cdot 1,0 / 2,303 = - 1,92 \\ C &= 0,012 \text{ g/mL}.\end{aligned}$$

(El resultado coincide con el valor obtenido anteriormente de 240 mg en 20 mL, es decir,  $0,24\text{g}/20\text{mL} = 0,012 \text{ g/mL}$ ).

### Actividad 8

**Debatan sobre la farmacocinética de una droga administrada por vía intravenosa.**

Ejemplo

Discuten, basándose en una simulación teórica, la cinética que sigue la concentración plasmática de una droga administrada por vía intravenosa.

Procedimiento

- El profesor o profesora presenta a los estudiantes un problema que es de aparición frecuente en la práctica clínica: se inyecta un fármaco (o droga) directamente a la vena.
- Los estudiantes debaten acerca de lo que creen que involucra este procedimiento como ventaja.
- Indagan, preguntando a un profesional del área de la salud, qué ventajas o desventajas tiene una inyección intravenosa comparada con otros tipos de administración: ¿es de acción más lenta? ¿se aprovecha más eficientemente el fármaco?
- El docente explica a los estudiantes las partes del dispositivo experimental que simula un modelo farmacocinético de un compartimiento (*Ver figura inferior*).

El dispositivo consiste de lo siguiente:

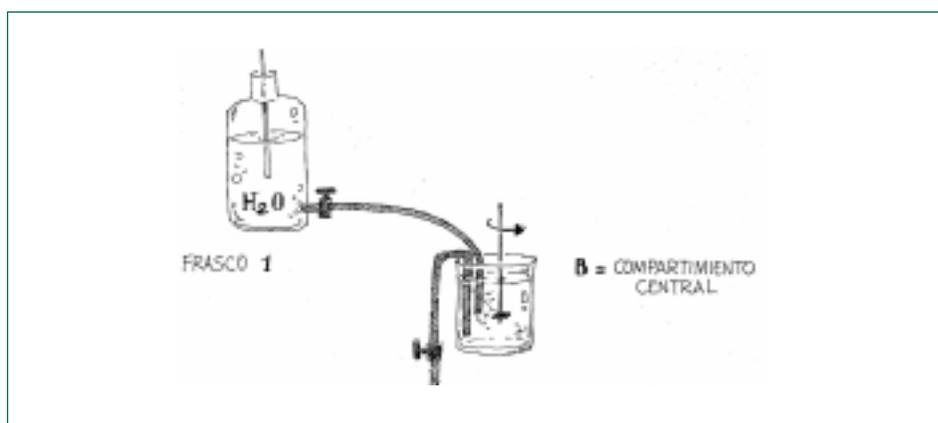
Recipiente B : representa el compartimiento de distribución (todos los líquidos y tejidos del cuerpo).

Frasco 1 : sirve para mantener constante el volumen de líquido en B.

Conexiones : tubos de vidrio y mangueras.

Llaves de paso : pinzas regulables.

Agitador : varilla de vidrio que sirve para mantener homogénea la solución contenida en el recipiente B.



Los estudiantes, distribuidos en grupos, realizan las siguientes acciones:

- Colocan 80 mL de agua en el recipiente B.
- Hacen escurrir agua desde B hacia el exterior con un flujo de 18 mL/min, graduado con una pinza regulable.
- Desde el frasco 1 hacen pasar agua, por gravedad, al recipiente B regulando el flujo con pinzas, de manera de mantener constante el volumen en el recipiente B.
- Una vez establecidos el flujo señalado y 18 mL/min de flujo para la eliminación desde B hacia el exterior, agregan al recipiente B el colorante que simulará la droga.
- Los estudiantes interpretan el arreglo experimental en términos de analogía con lo que se pretende simular.
- El docente explica la simulación de la cinética que sigue la concentración plasmática de una droga administrada por vía intravenosa en términos similares a lo siguiente:

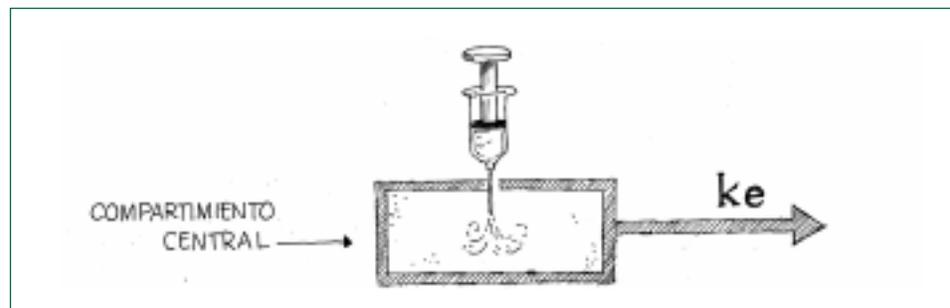
Si se considera que el recipiente B representa el compartimiento central de distribución de la droga, esto significa que representa el plasma más el líquido extracelular. Con el dispositivo experimental podemos simular los procesos de distribución, que nos permiten conocer las variaciones de la concentración plasmática de la droga en el tiempo, que al igual que los procesos de absorción se desarrollan siguiendo una cinética de primer orden.

La simulación de los procesos de distribución que siguen una cinética de primer orden se obtienen con el dispositivo experimental antes descrito, siempre y cuando el volumen del líquido en B se mantenga constante.

¿A qué situación equivale un volumen decreciente en B?

El siguiente ejemplo sirve como base de discusión:

Se administran rápidamente 400 mg de la droga X al compartimiento central (B) cuyo volumen es de 80 mL (esto corresponde a una concentración de 5 mg/mL). Durante el primer minuto se deja salir hacia el exterior 18 mL y al mismo tiempo, para mantener el volumen del recipiente constante, se hace entrar 18 mL de agua desde el frasco 1. El volumen de líquido en el recipiente B se mantiene constante, pero la concentración de la droga irá disminuyendo en el tiempo. En efecto, transcurrido el primer minuto habrán salido del recipiente B 90 mg de la droga (cantidad de la droga contenida en 18 mL). En el recipiente quedan 310 mg disueltos en 80 mL. Esto significa que la concentración de la droga disminuye de 5 mg/mL a 3,875 mg/mL, es decir disminuyó en un 22,5 %.



Durante el minuto siguiente, salen del recipiente B 69,75 mg (que corresponde a la cantidad de droga contenida en 18 mL de una solución que contiene 3,875 mg/mL de la droga), quedando en el recipiente 240,25 mg disueltos en 80 mL de agua. La concentración de la droga en el recipiente B bajó de 3,875 mg/mL a 3,003 mg/mL, es decir disminuyó en un 22,5% durante el segundo minuto. Siguiendo este procedimiento se puede calcular la disminución de la concentración de la droga en el compartimiento central de distribución en función del tiempo.

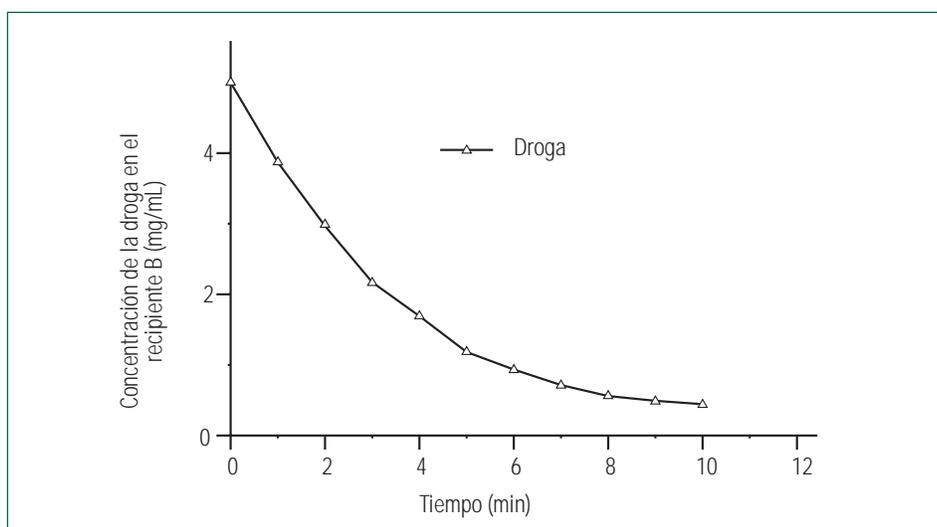
- A. Los estudiantes construyen una tabla con los datos obtenidos con el procedimiento anterior a distintos tiempos (0, 1, 2, 3, ....10 min), especificando el volumen de líquido en el recipiente B, la cantidad de droga que dicho recipiente contiene (mg), la respectiva concentración de la droga (mg/mL), la velocidad con que la droga abandona B (mg/min) y la fracción de la droga que pasa de A hacia B.

La tabla obtenida debiese ser así:

Tabla 1 Distribución

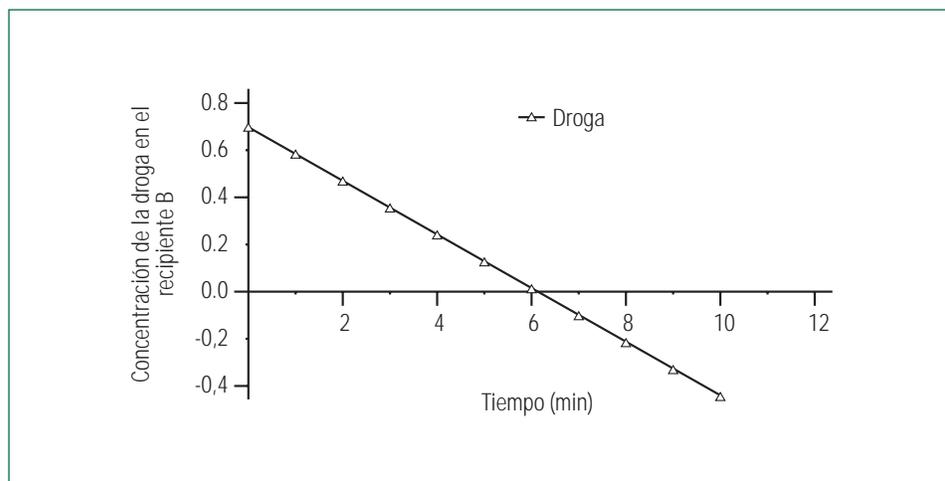
Tiempo (min)	Volumen de líquido en B (mL)	Cantidad de droga en recipiente B (mg)	Concentración de droga (mg/mL)	Velocidad mg/min	Fracción de droga que pasa de A hacia B (%)
0	80	400,0	5,0	-	-
1	80	310,0	3,9	90,0	22,5
2	80	240,3	3,0	69,7	22,5
3	80	186,2	2,3	54,1	22,5
4	80	144,3	1,8	41,9	22,5
5	80	111,8	1,4	32,5	22,5
6	80	86,7	1,1	25,1	22,5
7	80	67,2	0,84	19,5	22,5
8	80	52,1	0,65	15,1	22,5
9	80	40,3	0,50	11,8	22,5
10	80	31,3	0,39	9,0	22,5

- B. Grafican en papel milimétrico la concentración de la droga X (mg/mL) en el tiempo.



- C. Los estudiantes calculan el logaritmo de la concentración de la droga X (mg/mL), tabulan los datos y luego los grafican en papel semilogarítmico, calculando previamente el logaritmo de la concentración de la droga X a diferentes tiempos.

Tiempo (min)	Volumen de líquido en B (mL)	Cantidad de droga en el recipiente B (mg)	Concentración de droga (mg/mL)	log de la concentración de la droga
0	80	400,0	5,0	0,699
1	80	310,0	3,9	0,591
2	80	240,3	3,0	0,477
3	80	186,2	2,3	0,362
4	80	144,3	1,8	0,255
5	80	111,8	1,4	0,146
6	80	86,7	1,1	0,0414
7	80	67,2	0,8	-0,0969
8	80	52,1	0,7	-0,155
9	80	40,3	0,5	-0,301
10	80	31,3	0,4	-0,398



- D. Calculan el valor de la constante de eliminación ( $k_e$ ) y el tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ) de la droga inyectada.

$$\log C = \log C_0 - k_e t/2,303$$

Obtienen el valor de la constante de absorción, ya sea calculando la pendiente a partir del gráfico o bien despejando la ecuación.

$$k_e = 0,255/\text{min}$$

Conociendo el valor de la constante de eliminación calculan el tiempo medio de absorción ( $t_{1/2}$ ). Éste corresponde al tiempo requerido para absorber el 50% de la concentración de la droga. El  $\ln 2$  es 0,693.

$$t_{1/2} = \ln 2/k_e = 0,693/0,255 = 2,71\text{min}$$

E. Finalmente, los estudiantes calculan el volumen aparente de distribución de la droga X que se administró por vía intravenosa en una dosis de 400 mg y cuya  $C_o$  es de 5 mg/mL. (5 g /L).

$$V_d = D_o /C_o$$

$$V_d = 0,400 \text{ g} / 5 \text{ g/L} = 0,080 \text{ L}$$

El  $V_d$  de la droga es de 80 mL y corresponde al volumen de líquido en el recipiente B.

Para las indicaciones al docente, (véase la actividad 7).

## Actividad 9

### Indagan sobre la calidad de los medicamentos.

#### Ejemplo

Discuten en torno a los conceptos de biodisponibilidad, equivalencia química o farmacéutica y bioequivalencia.

#### Procedimiento

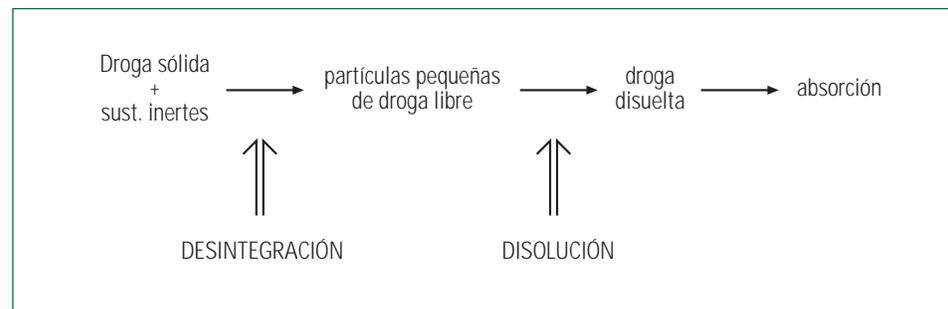
- El docente pregunta a los estudiantes qué se imaginan cuando se habla de biodisponibilidad de una droga.
- Los estudiantes debaten y al término de sus discusiones el docente define biodisponibilidad como la proporción de principio activo (droga o metabolito) que entra en la circulación general y que, por consiguiente, llega al lugar de acción, así como la velocidad con que ello sucede.

- Los estudiantes indagan acerca de los factores que determinan la biodisponibilidad.
- El profesor enumera los principales factores:
  - la velocidad de disolución,
  - la velocidad de absorción y
  - el volumen de distribución.

Los estudiantes discuten sobre el significado de cada uno de estos factores.

- El docente señala que analizarán los factores que determinan la velocidad de disolución de una droga y cómo ésta modifica las concentraciones del fármaco en la circulación.

Expone el caso de una droga sólida administrada por vía oral, por ejemplo una aspirina, y explica que en las presentaciones farmacéuticas, conocidas como medicamentos, la droga va mezclada con otros compuestos inertes o inactivos (talco, colorantes, saborizantes, edulcorantes, etc.).



El docente explica que los medicamentos sólidos (por ejemplo, los comprimidos) pueden disgregarse y desintegrarse, pero la absorción sólo ocurre cuando el principio activo se disuelve.

La disolución de una droga depende por lo tanto de la velocidad de desintegración del medicamento y de la velocidad de disolución o solubilidad de la droga.

Los estudiantes debaten acerca del tiempo que transcurre para que el paciente detecte el efecto de una droga. El docente propone casos concretos, por ejemplo el siguiente:

- “Una persona sufre con frecuencia de cefaleas muy molestas, que no le permiten trabajar y que la obligan a mantenerse acostada en la oscuridad y en un ambiente de silencio. El médico descarta varias posibles causas, entre ellas una posible fobia al trabajo, y finalmente le receta un medicamento en forma de cápsulas, que debe ingerir en cuanto note un pequeño dolor de cabeza”.

¿Será instantáneo el efecto del fármaco? ¿Por qué el médico le habrá recomendado tomar el medicamento en cuanto note un ligero dolor? ¿Piensan que sería conveniente, para acelerar la disolución, que en vez de tragarse las cápsulas las masticara bien?

El docente explica que hay una gran variabilidad en la velocidad con que una droga se absorbe, o sea, ingresa al torrente circulatorio. Esta depende en una primera fase de la formulación farmacéutica del medicamento, que determina su capacidad de desintegración, y de la solubilidad de la droga.

Señala que las formas más comunes para aumentar la solubilidad de las drogas se relacionan con su acidez:

- Si la droga es ácida se formula como sal sódica,  $\text{DNa}$ , o como sal de otros cationes. Ejemplo: pentobarbital sódico.
- Si la droga es básica se adiciona  $\text{HCl}$  u otros ácidos. Ejemplo: clorhidrato de tetraciclina.

El profesor incentiva a los estudiantes a debatir las siguientes afirmaciones:

- que las propiedades fisicoquímicas de una droga condicionan su absorción,
- que la forma farmacéutica (de su diseño y manufactura) son determinantes para su biodisponibilidad.
- A continuación se discute cómo la formulación farmacéutica de un medicamento incide sobre su biodisponibilidad, a base del siguiente ejemplo:

la fenilbutazona es un analgésico antiinflamatorio que se utiliza en el tratamiento de la artritis reumatoide.

Se administra una misma dosis de fenilbutazona, obtenida de diferentes compañías farmacéuticas dando el siguiente resultado:

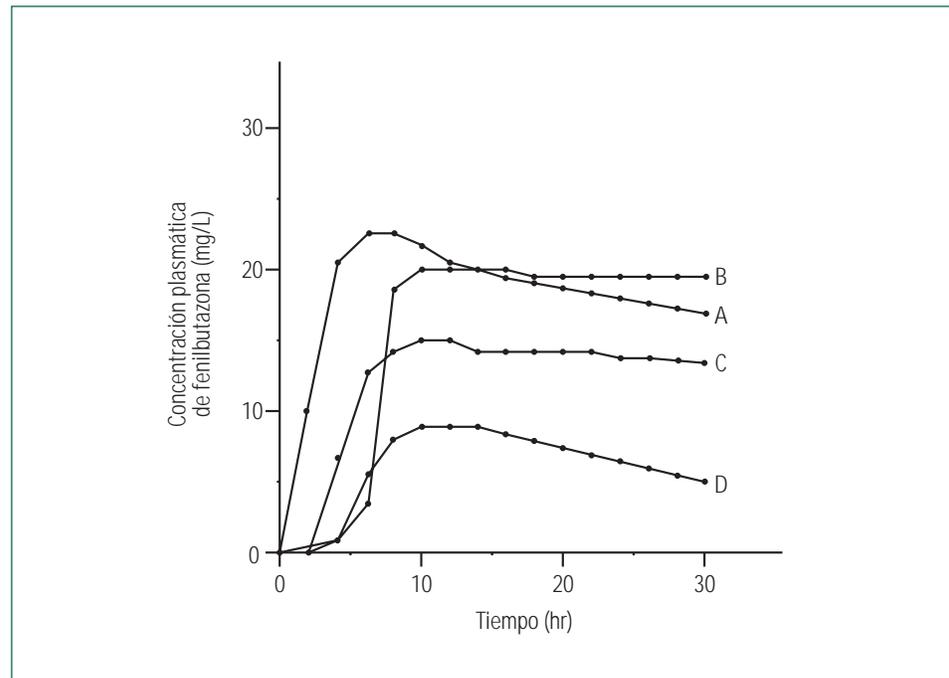


Figura 1 Biodisponibilidad de fenilbutazona. Efecto de la administración de la misma dosis de fenilbutazona a un mismo individuo. Las curvas A, B, C y D corresponden a los resultados obtenidos con fenilbutazona de diferentes compañías farmacéuticas.

- El docente indica que las formulaciones farmacéuticas A, B, C y D son equivalentes: los medicamentos contienen el mismo principio activo y en la misma cantidad (equivalencia química o farmacéutica). Los ingredientes inactivos pueden ser distintos.
  - Los estudiantes, guiados por el docente, analizan e interpretan las curvas anteriores y tratan de responder a las siguientes preguntas:
    - ¿Hay variabilidad en la absorción de la fenilbutazona de distinto origen?
    - ¿En qué caso se logra una mayor absorción?
    - ¿Cuál formulación actúa más rápido?
    - ¿Cuál formulación alcanza la menor absorción?
    - ¿Cuál de las formulaciones parece ser la más adecuada y por qué?

- El docente explica que la variabilidad observada indica que los medicamentos no son bioequivalentes y al ser administrados al mismo individuo no alcanzan concentraciones similares en el plasma. La bioequivalencia se aplica a los equivalentes químicos que, administrados a la misma persona siguiendo el mismo esquema de administración, alcanzan concentraciones similares en el plasma y tejidos.
- Las alumnas y alumnos debaten en torno a la pregunta: ¿En qué situaciones es importante la bioequivalencia de un medicamento?
- Los estudiantes indagan y debaten en torno a si es razonable que el cliente insista en la farmacia la venta de un medicamento de menor costo que es químicamente equivalente al recetado.

Resumen en sus cuadernos sus conclusiones.

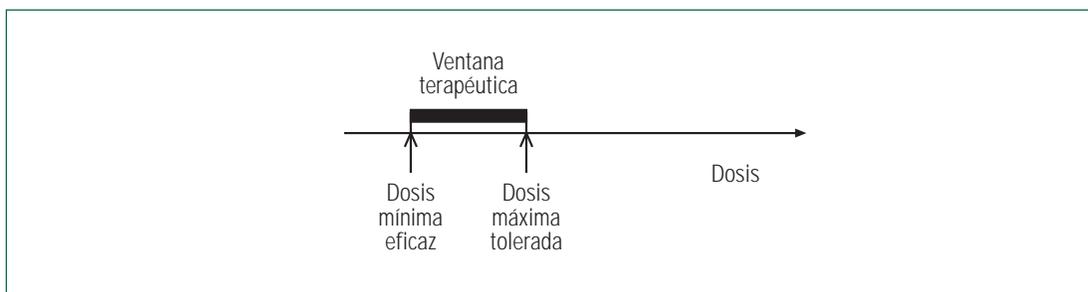
#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que los alumnos y alumnas aprendan a distinguir claramente entre los conceptos de biodisponibilidad, equivalencia química (o farmacéutica) y bioequivalencia, ya que son términos que son frecuentemente confundidos. También es importante que los estudiantes sepan que la equivalencia química de un medicamento no asegura una misma bioequivalencia.

La bioequivalencia es particularmente importante cuando el índice terapéutico de una droga es estrecho: el índice terapéutico es la relación entre la dosis máxima tolerada y la dosis mínima eficaz,

$$\text{Índice terapéutico} = D_{\text{máxima tolerada}} / D_{\text{mínima eficaz}}$$

Se habla a veces de la “ventana terapéutica” y si ella es estrecha una ligera sobredosis podrá actuar con toxicidad (hepática y renal principalmente), mientras que si la dosis es ligeramente inferior no tendrá efecto terapéutico alguno.



El uso de un medicamento sustituto no bioequivalente de un droga, con un índice terapéutico relativamente estrecho, puede producir problemas como toxicidad o pérdida de la eficacia terapéutica, siendo éstos más relevantes en el curso de tratamientos prolongados.

Sin embargo, en ocasiones es posible la equivalencia terapéutica aunque haya variaciones en la biodisponibilidad. Por ejemplo, el índice terapéutico de la penicilina es tan amplio que diferencias moderadas en la concentración plasmática debidas a diferencias en la biodisponibilidad de las formulaciones de penicilina pueden no afectar la eficacia terapéutica o la seguridad de la droga.

### Actividad 10

---

#### Debaten sobre la importancia de las enzimas en farmacología.

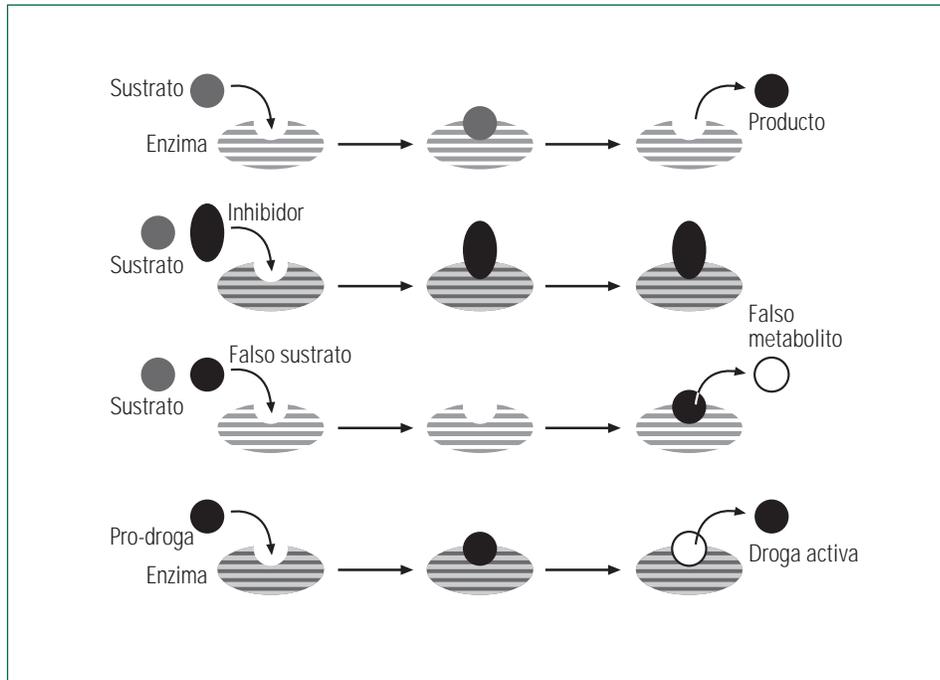
##### Ejemplo

Los estudiantes discuten y analizan el caso de drogas o fármacos cuyo blanco son las enzimas.

##### Procedimiento

- Debaten acerca de la naturaleza de las enzimas, qué son químicamente, cómo actúan desde el punto de vista de la cinética; qué enzimas de importancia pueden nombrar (lipasas, peroxidasas, etc.).
- Qué son reacciones anabólicas (síntesis) y catabólicas (degradación) de las diferentes moléculas que intervienen en el metabolismo celular y en las cuales intervienen enzimas,
- por qué se dice que una enzima presenta especificidad y qué es un sustrato.
- El profesor aclara finalmente dichos puntos y los estudiantes toman nota en sus cuadernos.
- El docente propone un debate en torno a cómo se podría modificar con una droga o fármaco la actividad metabólica producida por la acción de un enzima.

- El profesor explica tres modos de acción de una droga:



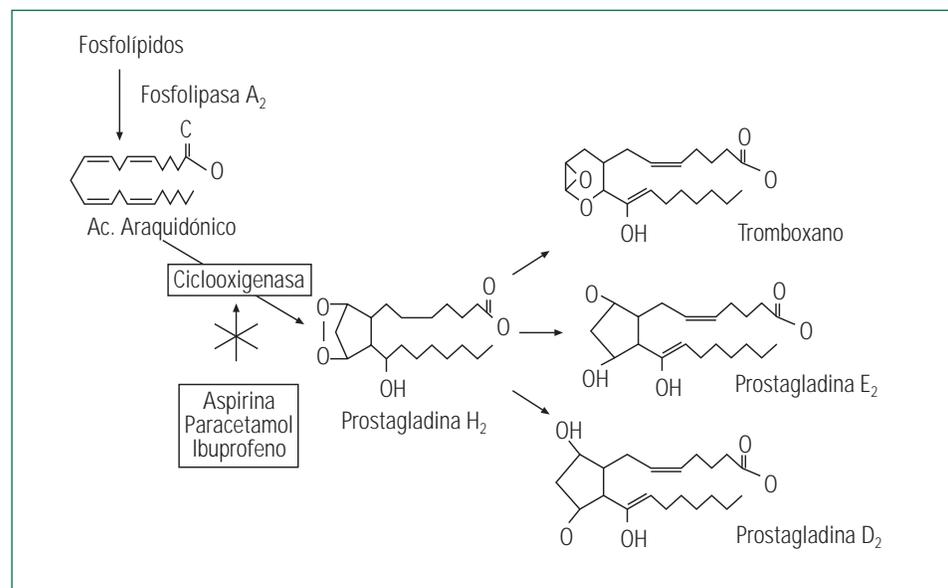
- a. Inhibición de la enzima.
- b. Sustitución del sustrato, actuando como un sustrato falso.
- c. Uso de la capacidad metabólica para transformar una pro-droga, o molécula que carece de actividad farmacológica, en un metabolito que actúa como droga activa.

Estas situaciones se ilustran en el esquema anterior.

Los alumnos y alumnas debaten acerca de qué es un antiinflamatorio, cuándo se utiliza, qué formulaciones farmacéuticas conocen y qué han escuchado acerca de posibles efectos secundarios o contraindicaciones en su uso.

El docente presenta el siguiente ejemplo:

Los antiinflamatorios no esteroideos como la aspirina, el paracetamol e ibuprofeno son inhibidores de la enzima ciclooxigenasa, enzima que participa en la síntesis de mediadores de la respuesta inflamatoria tales como el tromboxano A<sub>2</sub> y las prostaglandinas PGH<sub>2</sub>, PGD<sub>2</sub> y PGE<sub>2</sub>. Estos mediadores químicos son los responsables de la vasodilatación que produce salida de líquidos que ocasiona la hinchazón o edema, de la sensación de dolor entre otras reacciones que acompañan un proceso inflamatorio:



- Los estudiantes debaten y comentan el esquema anterior. Indagan acerca de ¿qué función química desempeña la ciclooxigenasa?, ¿hay alguna similitud química entre el ácido araquidónico y la aspirina que permita “engañar” a la enzima?, ¿cuál es la estructura del ibuprofeno?

A continuación, el docente señala otros ejemplos:

- a. La penicilina y sus derivados junto con las cefalosporinas son antibióticos que inhiben la síntesis de la pared celular de muchas bacterias uniéndose a una enzima llamada transpeptidasa, y de esta manera producen la muerte de las bacterias: por ello reciben el nombre de agentes bactericidas.
- Los estudiantes indagan sobre otros agentes bactericidas, por qué un antibiótico no es eficaz para tratar infecciones virales y qué significa que las bacterias hayan desarrollado resistencia a los antibióticos. Debaten algunos casos bien documentados.

- b. Los insecticidas organofosforados y otros agentes químicos tóxicos de la misma familia desarrollados durante la segunda guerra mundial (sarin®, tabún®, etc.) inhiben la acetilcolinesterasa, enzima que metaboliza la acetilcolina, un neurotransmisor responsable de la contracción muscular.
- Los estudiantes debaten sobre el uso y abuso de insecticidas fosforados destinados al hogar y para el combate de algunas plagas de jardín (pulgón del rosal, conchuela, etc.).

Indagan y debaten sobre el atentado ocurrido hace algunos años en el metro de Tokio usando Sarin. ¿Qué opinan sobre ese tipo de acciones?, ¿qué piensan que ha fallado en la sociedad moderna que en los últimos tiempos ha sufrido graves actos terroristas?, ¿cuál piensan que es la motivación más profunda de dichos actos?, ¿qué consideran necesario realizar para que la humanidad conviva de manera más pacífica y tolerante?

- c. El captopril® es un agente antihipertensivo que es inhibidor de la enzima convertidora de angiotensina.
- Alumnas y alumnos debaten: ¿en qué consiste la hipertensión?, ¿cuáles son sus riesgos?, ¿qué porcentaje de la población chilena adolece de hipertensión?, ¿cuál es la tasa de mortalidad anual atribuida a esa causa?
- Los estudiantes indagan y debaten acerca de los conceptos de receptor, agonista y antagonista. Intentan hallar ejemplos y los discuten.
- El docente define un receptor como una proteína capaz de recibir estímulos específicos y responder ante ellos, participando de este modo en los diferentes mecanismos de comunicación entre células (hormonas y neurotransmisores), y entre el individuo y el medio ambiente (luz, sonido, presión, olor, etc.).
- Dichas proteínas se localizan insertas en la membrana celular o bien al interior de la célula.
- Los agentes químicos o físicos capaces de estimular específicamente (alta afinidad) un receptor reciben el nombre de agonistas.
- El docente propone a los alumnos y alumnas que indaguen cómo se puede modificar la actividad de un receptor con una droga o fármaco.

El docente aclara los siguientes puntos referidos a esa pregunta:

- a. Una manera es imitando el efecto del agonista endógeno a través de la síntesis de compuestos capaces de comportarse como agonistas.

- b. La otra forma es impidiendo que el agonista se una al receptor a través de la síntesis de compuestos capaces de unirse con alta afinidad al receptor y que carezcan de la capacidad de activarlo, estos agentes químicos reciben el nombre de antagonistas.

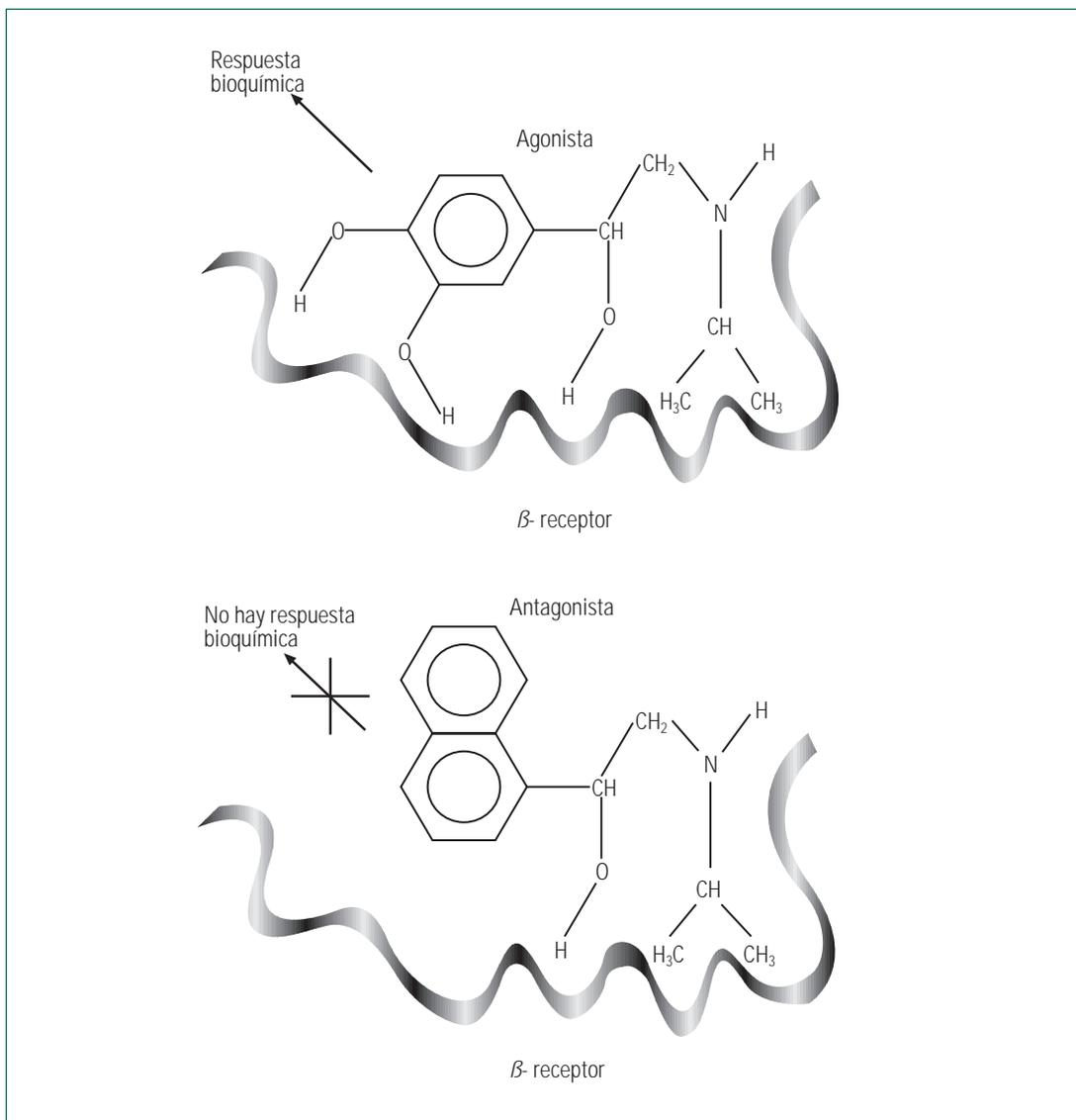
Los siguientes ejemplos son discutidos brevemente:

- El propranolol es antagonista de los receptores  $\beta$ -adrenérgicos que se usan en el tratamiento de la hipertensión.
- El salbutamol es un agonista  $\beta_2$ -adrenérgico que se usa como dilatador bronquial en el tratamiento del asma.
- La ranitidina es un antagonista del receptor de la histamina  $H_2$ . Los receptores de la histamina están involucrados en la secreción de ácido de la mucosa gástrica y los antagonistas se usan en el tratamiento de la úlcera gástrica y duodenal.
- La morfina es un agonista de los receptores  $\mu$ -opíodes y se utiliza para el tratamiento del dolor.
- La clorpromazina es un antagonista de los receptores de la dopamina y se utiliza en el tratamiento de la psicosis.
- Finalmente, el docente encomienda a cada alumno y alumna buscar en el botiquín de su casa los medicamentos que se consumen y para cada uno de ellos:
  - a. Investigan su mecanismo de acción.
  - b. Identifican el tipo de proteínas sobre las que actúan.
  - c. Clasifican estas proteínas según su función.

Toman nota en sus cuadernos de dicha información.

## INDICACIONES AL DOCENTE

La siguiente ilustración muestra los dos casos de interacción de un fármaco con un receptor; en el primero de ellos un agonista provee una respuesta bioquímica, mientras que, en el segundo, un antagonista ocupa el sitio del receptor  $\beta$  y bloquea el ingreso de un agonista.



Fuente: Pimentel, G.C., Coonrod, J.A., Oportunidades en la química. Presente y futuro, McGraw-Hill, 1995, México. (Pág. 100)

Esta actividad es de gran importancia para que los estudiantes se informen sobre diversas formulaciones farmacéuticas (medicamentos) y su modo de acción.

Esta actividad ofrece al docente una excelente oportunidad para que estimule a los alumnos y alumnas a debatir e intercambiar opiniones sobre temas valóricos que son de gran importancia y actualidad.

Es importante que el docente no se involucre directamente en estos debates, intentando transmitir o imponer sus visiones valóricas o éticas a los estudiantes, sino que actúe más bien como un moderador y facilitador del debate. Es prácticamente seguro que alumnas y alumnos sabrán identificar los puntos claves que estructuran estos temas, pero es necesario que los debatan, que confronten sus visiones particulares con las de sus pares, que asuman posiciones y que las defiendan, pero también que sean capaces de encontrar razón en los argumentos aparentemente contrarios de sus compañeros y compañeras. Al término de estas actividades puede ser provechoso que el docente solicite a algunos estudiantes que se hayan mantenido al margen del debate, que resuman las opiniones de sus compañeros y que expresen su propia opinión.

### Actividad 11

---

#### **Investigan y debaten sobre la toxicidad de sustancias para el ser humano.**

##### Ejemplo

Indagan y discuten sobre la existencia de agentes químicos que son tóxicos para los seres humanos, con énfasis en los agentes tóxicos presentes en los alimentos.

##### Procedimiento

- Los estudiantes debaten sobre cuáles son los agentes tóxicos que conocen y que están presentes en algunos alimentos.
- Buscan ejemplos concretos, individualizando los agentes tóxicos.
- Toman nota de sus averiguaciones en sus cuadernos.

El docente informa acerca de las fuentes de agentes tóxicos en los alimentos:

- Los aditivos (agentes conservantes, colorantes, endulcorantes) que son adicionados durante su procesamiento industrial.
- Los agentes indeseados e introducidos en los alimentos por las tecnologías agropecuarias. Entre ellos hay agentes como pesticidas, residuos de drogas usadas en veterinaria y nitrosaminas.
- Aquellos agentes químicos que se introducen por la contaminación industrial, por ejemplo, metales pesados (plomo, mercurio, cadmio etc).
- Contaminación que se produce por distintos fenómenos naturales, por ejemplo, mareas rojas.

A continuación se proponen cuatro ejercicios para ser realizados por diferentes grupos de alumnos:

### Ejercicio 1

- Los alumnos y alumnas seleccionan en el supermercado 6 productos alimenticios comunes procesados industrialmente y para cada uno de ellos realizan lo siguiente:
  - a. Indagan sobre la información nutricional.
  - b. Indagan qué tipo de aditivos (colorantes, agentes conservadores, etc.) contienen.
  - c. Averiguan si algunos de los aditivos utilizados en esos alimentos no están permitidos en otros países y por qué razón.
- Los estudiantes reúnen la información y comparan los puntos a. y b. para alimentos similares de diferente origen y fabricación. Indican el papel que desempeña cada aditivo en los alimentos.

Resumen su información en forma de un cuadro que exhiben en el fichero de la sala y del colegio.

### Ejercicio 2

- Los alumnos y alumnas investigan qué tipo de pesticidas están prohibidos en la agroindustria nacional y por qué. En particular, indagan acerca del DDT, su estructura química y por qué ha sido prohibido.
- Alumnos y alumnas que se encuentran en zonas de producción agrícola realizan esta actividad entrevistando directamente a agricultores sobre el uso de pesticidas y herbicidas en la zona.

Resumen su información en el cuaderno y en forma de un cuadro, el que exhiben en el fichero de la sala y del colegio.

### Ejercicio 3

- Los alumnos y alumnas investigan sobre la contaminación de los mariscos producida por las mareas rojas.
  - a. Discuten sobre qué se sabe acerca del fenómeno denominado “mareas rojas” y qué productos marinos son afectados por ellas.
  - b. Investigan los diferentes efectos de las toxinas producidas por mareas rojas (dinoflagelados) y cuáles son las más comúnmente observadas en nuestro país.
  - c. Discuten las políticas de prevención.

Resumen su información en forma de un cuadro que exhiben en el fichero de la sala y del colegio.

### Ejercicio 4

- Los alumnos y alumnas investigan sobre la contaminación de alimentos y agua por metales pesados. Indagan para responder a las siguientes preguntas:
  - ¿Qué industrias o procesos de extracción de minerales producen contaminación por metales?
  - ¿Cuál o cuáles son las vías de contaminación de aguas?
  - ¿Cómo se contaminan los alimentos?

Resumen su información en forma de un cuadro que exhiben en el fichero de la sala y del colegio.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

El docente podrá ampliar algunos de estos ejercicios de acuerdo a la región geográfica en que ejerza su labor docente. Así es como la marea roja tiene gran importancia en regiones del sur, principalmente en la XI Región, pero escasa o ninguna relevancia en regiones del centro y norte del país. Algo similar pero a la inversa ocurre con la contaminación con metales pesados, etc.

En la realización del ejercicio 1 conviene sugerir a los estudiantes que su selección sea de alimentos que ellos consumen habitualmente, por ejemplo, sopas instantáneas envasadas, yogurt, mayonesa, galletas, bebidas, cecinas envasadas, etc. Es importante que los alumnos y alumnas adquieran la capacidad de distinguir entre el contenido nutricional del alimento y los aditivos agregados durante el procesamiento industrial. De la misma forma resulta importante que conozcan los diferentes tipos de aditivos que son agregados a los alimentos: aglutinantes, antioxidantes, blanqueadores, colorantes, emulsionantes, saborizantes, endulcorantes, humectantes, leudantes, nutrimentos, conservadores y antimicóticos. Más aun, es necesario que se informen sobre cuáles agentes aditivos están permitidos por las reglamentaciones sanitarias nacionales, cuáles no lo están y debido a qué razón.

Durante el desarrollo del ejercicio 2 es importante que los alumnos y alumnas conozcan qué pesticidas y herbicidas se utilizan en la agroindustria nacional durante la producción de alimentos tanto para el consumo interno como para la exportación. También es necesario que se informen de las propiedades de estos agentes y de su potencial toxicidad cuando son ingeridos por el ser humano o por animales.

En la realización de este ejercicio se propone que aquellos alumnos y alumnas que habitan en regiones agroindustriales realicen entrevistas a los productores sobre el uso de estos agentes. En aquellos casos en que alumnos y alumnas habiten en áreas urbanas esta información la pueden obtener en cualquier dependencia del SAG y en bibliotecas universitarias, centrales y de las Facultades de Agronomía.

En lo que se refiere al ejercicio 3, es importante que el docente señale que las mareas rojas o florecimiento de dinoflagelados es un fenómeno que afecta las costas de varias regiones de nuestro país. Durante este fenómeno se produce la contaminación de moluscos bivalvos (mariscos), cuya ingestión es causante de intoxicaciones de carácter grave. El conocer la naturaleza de este problema es importante para entender las políticas de prevención y la responsabilidad individual en el consumo de estos alimentos.

Esta experiencia puede realizarse con el apoyo del profesor de biología ya que durante su desarrollo se ponen en juego conocimientos previamente adquiridos y, además, permite integrar el conocimiento de diferentes áreas conceptuales.

Durante la ejecución del ejercicio 4 es importante que los alumnos y alumnas recuerden cuáles son los minerales que tienen importancia como nutrimentos y que los distingan de aquellos cuya acción es tóxica para el organismo. También conviene que investiguen qué cantidades de metales pesados son aceptables en los alimentos, por ejemplo, expresadas en partes por millón (ppm).

La cantidad de metales se expresa normalmente en ppm (partes por millón), esta unidad corresponde a la concentración de un soluto expresado como las partes contenidas en 1 millón de partes del todo. Ejemplo: Si se disuelven 5 g de NaCl en 95 g de agua lo que produce 100 g de disolución o una disolución al 5% de NaCl. Esto significa que tenemos 5 ppc (partes por cien), 50 ppmil (partes por mil) y 50000 ppm (partes por millón), lo que es igual a  $5/100 = 50/1000 = 50000/1000000$ .

## Actividad 12

---

### Determinan la cantidad de un aditivo alimenticio de importancia farmacológica.

#### Ejemplo

Realizan un análisis químico para averiguar el contenido de vitamina C en bebidas.

#### Procedimiento

- Para realizar esta actividad los estudiantes disponen de los siguientes materiales:
  - Yoduro de potasio
  - Yodo
  - Solución de yodo
  - Solución de almidón
  - Acido ascórbico (vitamina C)
  - Bureta
  - Soporte para bureta
  - Matraces Erlenmeyer de 125 mL
  - Matraz aforado de 1 L
- Los estudiantes indagan acerca de la reacción que ocurre entre el yodo y el ácido ascórbico, ¿qué tipo de reacción es?, ¿cuál es su estequiometría?, ¿qué productos se forman?, ¿por qué no es necesario usar un indicador?, ¿tendría sentido que alguien que es alérgico al yodo consumiera como antídoto ácido ascórbico?, ¿por qué?

Un grupo de estudiantes prepara la solución de almidón:

- Se pesan 2 g de almidón y se agrega un poco de agua hasta formar una pasta homogénea, la cual se diluye en 30 mL de agua y se agrega poco a poco en un litro de agua hirviendo; se deja en ebullición por 2 o 3 min más y se deja enfriar.

Otro grupo prepara la solución de yodo 0,1 N:

- Para obtener un litro de solución 0,1 N de yodo, disuelven 40 g de yoduro de potasio en 30 mL de agua contenida en un matraz aforado de un litro. Agregan 13 g de yodo y lo dejan disolver en la solución de yoduro agitando el matraz.
- Cuando el yodo se haya disuelto diluyen con agua hasta la marca de aforo. La solución obtenida se deja reposar durante 24 horas en frasco oscuro y protegida de la luz.

Un tercer grupo prepara la solución 0,1% de ácido ascórbico (vitamina C):

- Con el fin de obtener 200 mL de una solución 0,1% de vitamina C disuelven 2 g de ácido ascórbico en 200 mL de agua. La concentración de vitamina C de esta solución es de 1 mg/mL.

Cuatro grupos realizan, de manera independiente, la determinación del factor de conversión, para lo cual proceden como sigue:

- Agregan 25 mL de la solución de vitamina C en un matraz Erlenmeyer de 125 mL.
- Agregan 10 gotas de la solución de almidón.
- Llenan la bureta con solución 0,1 N de yodo y anotan el volumen inicial.
- Añaden lentamente la solución de yodo al matraz agitándolo en círculos. Continúan adicionando la solución hasta que observan el primer indicio que la coloración azul intensa permanece durante 20 segundos de agitación (punto final de la titulación). Para observar mejor el cambio de coloración colocan una hoja blanca debajo del matraz.
- Anotan el volumen final de la bureta y calculan el volumen de solución de yodo empleado en la titulación.
- Calculan la cantidad de miligramos de vitamina C que corresponde a un mL de solución de yodo. Esto se obtiene dividiendo 25 mg de vitamina C entre el volumen en mililitros de la solución de yodo empleada en la titulación.
- Anotan el factor de conversión (mg de vitamina C/mL de solución de yodo).
- Promedian el valor obtenido por los cuatro grupos y debaten sobre la precisión de sus resultados y posibles causas de error.

Análisis de vitamina C en bebidas:

- Miden 25 mL de la bebida en un matraz Erlenmeyer de 125 mL.
- Siguen el mismo procedimiento antes descrito.
- Anotan el volumen de la solución de yodo empleada en la titulación.
- Calculan los miligramos de vitamina C contenidos en la bebida usando el factor de conversión.
  - Los estudiantes comparan los valores obtenidos y debaten sobre sus resultados.
  - Anotan sus resultados en el cuaderno y dibujan el dispositivo experimental utilizado.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

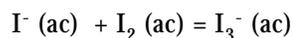
Es importante tomar en cuenta que el color de las bebidas puede afectar el color de la reacción de punto final. Así por ejemplo, si la bebida es roja, su color sumado al azul del almidón con yodo dará un color púrpura. Por ello es recomendable tener siempre a la vista una muestra de la bebida para comparación, ya que el ojo se va adaptando a variaciones de color y es posible que el punto de equivalencia sea sobrepasado sin que los estudiantes lo adviertan.

Este procedimiento es fácil de adaptar para la determinación de la cantidad de vitamina C en tabletas. Para ello disuelven una tableta en agua y aforan a 1 L. Trabajan con una porción alícuota (por ejemplo, 25 mL) de esa solución.

Dependiendo de la cantidad de vitamina que contenga la tableta puede ser necesario hacer diluciones de la solución obtenida. Previamente, los estudiantes pueden calcular la cantidad de solución de yodo que necesitarían para titular el ácido ascórbico si la dosificación indicada en el envase fuese exacta.

Es importante que los estudiantes comprendan cabalmente lo que deberán hacer, de modo que su trabajo no se limite a seguir un procedimiento o “receta” y que estén conscientes de cuál es la razón de ser de cada uno de los detalles experimentales.

El yodo es muy poco soluble en agua, razón por la cual se agrega KI que permite su solubilización por formación de triyoduro,  $I_3^-$ :



## Unidad 2

### **Parte 2: Relación de la química con procesos biológicos y ciencias de la salud**

#### Contenidos

- Drogas de origen natural.
- Drogas sintéticas, agentes adrenérgicos.
- Adicción a drogas. Mecanismos.
- El genoma humano. Terapia génica.

### Aprendizajes esperados

Los alumnos y alumnas:

- Integran los conceptos de inhibidor, agonista y antagonista, y efectos adversos a través del estudio de las penicilinas y los agentes adrenérgicos.
- Conocen la relación estructura-actividad a través del estudio de los agentes adrenérgicos.
- Comprenden el fenómeno de adicción a drogas como una enfermedad.
- Reconocen el impacto del conocimiento del genoma en el desarrollo de nuevas terapias.

## Actividad 1

---

### Se informan acerca de algunos fármacos de origen natural y sus derivados.

#### Ejemplo

Los alumnos y alumnas investigan sobre aspectos sintéticos y farmacológicos de la penicilina y sus derivados.

#### Procedimiento

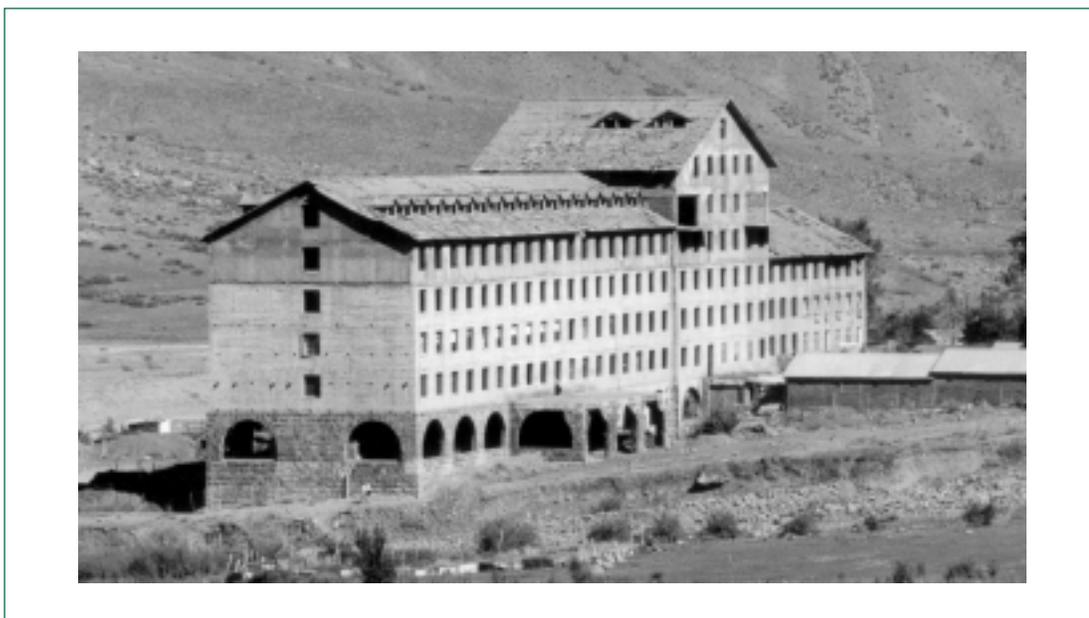
- Los estudiantes, distribuidos en grupos indagan y debaten acerca de dos de los siguientes temas relacionados a la penicilina:
  1. Su descubrimiento e impacto sobre las ciencias de la salud.
  2. Obtención.
  3. Mecanismo de la acción bactericida.
  4. Las ventajas y desventajas de sus análogos.
  5. Los mecanismos de resistencia y sus problemas.
  6. Sus efectos adversos (alergia).
  7. Uso y abuso de esta droga y sus derivados. Perspectivas.
- Cada grupo de estudiantes presenta su trabajo y debate con otro grupo que haya abordado los mismos temas, o al menos uno de ellos.
- Intercambian información y puntos de vista en torno a la penicilina.
- Toman nota en sus cuadernos de las preguntas que hayan quedado sin responder e indagan para explicarlas en la próxima clase.
- Confeccionan un afiche en que colocan la información más relevante sobre la penicilina, considerando brevemente cada uno de los temas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

El objetivo de esta actividad es que los alumnos y alumnas conozcan la familia de las penicilinas como un ejemplo de drogas de origen natural.

En el desarrollo de la actividad es importante que todos los estudiantes aborden al menos uno de los temas numerados con 1, 3, 5 y 7.

El ejemplo de la penicilina como antibiótico es útil para discutir el impacto histórico que tuvo su descubrimiento sobre la expectativa de vida. Un ejemplo interesante para la discusión es que antes de la era de la penicilina, a los enfermos tuberculosos se les aislaba en sanatorios apartados. Puede ser ilustrativo de esta situación que vean la foto del sanatorio que se estaba construyendo en las Termas del Flaco, VI Región, en los años 40. Esta construcción no se terminó debido al cambio en el tratamiento que significó el desarrollo de los antibióticos.



Obra gruesa del Sanatorio en Termas del Flaco. (Fotografía tomada el año 2000).

La penicilina es un ejemplo importante para discutir y ejemplificar el uso inadecuado de antibióticos y su efecto sobre la aparición de resistencia en las bacterias patógenas.

Las siguientes fuentes de información pueden ser útiles para el desarrollo de esta actividad:

**<http://members.tripod.com/fotografia/textos/penicilina.htm>** (historia, fuente de obtención, proceso industrialización).

**[http://netcall.com.mx/milenio/la\\_penicilina.htm](http://netcall.com.mx/milenio/la_penicilina.htm)** (historia y obtención)

**<http://www.lafacu.com/apuntes/medicinas/penicilina>** (mecanismo de acción y los miembros de la familia)

**<http://www.tuotromedico.com/temas/antibioticos.htm>** (uso e indicaciones)

**<http://www.estafilococo.com.ar/betalactamicos.htm>**

**<http://www.monografias.com/trabajos5/antibio.shtml>** (historia, origen, obtención, estructuras, propiedades)

**[http://www.cnnnet.clu.edu/quim/Q\\_3451/estereoquimica/penicilina.html](http://www.cnnnet.clu.edu/quim/Q_3451/estereoquimica/penicilina.html)** (síntesis y estructuras)

**<http://www.clinicasubiza.com/data/enfermedades/alergiabetalactamicos.html>**

**<http://www.perinat.org.ar/ATB.html>** (uso y abuso de antibióticos)

**[http://www.infections.bayer.com/antibioticos\\_es.html](http://www.infections.bayer.com/antibioticos_es.html)** (uso y abuso de antibióticos)

**<http://www.infecto.edu.uy/español/cursos/antibiotico/atbfa/peni/resist.html>** (resistencia)

**<http://www.fada.com.ar/penioral1.htm>**

**<http://www.fquim.unam.mx/eq/82/82-pro-1.pdf>** (revisión bibliográfica)

**[www.ispch.cl](http://www.ispch.cl)** este sitio corresponde al Instituto de Salud Pública de Chile.

## Actividad 2

---

**Indagan acerca de la frecuencia de uso de medicamentos.**

Ejemplo

Los alumnos y alumnas investigan cuáles son los antibióticos más recetados en su comunidad.

Procedimiento

- Distribuidos en grupos, hacen una encuesta en una muestra de la población de su comunidad y preguntan qué antibióticos les han sido administrados o cuáles antibióticos han recetado, administrado, inyectado o vendido más frecuentemente. Abordan los siguientes grupos de público:
  - 5 docentes del colegio
  - 10 estudiantes de 3° Medio.
  - 5 parientes adultos
  - 2 médicos
  - 2 enfermeras
  - 2 practicantes
  - 2 vendedores de farmacias.

**INDICACIONES AL DOCENTE**

Para el desarrollo de esta actividad los alumnos y alumnas diseñarán un formulario simple de la encuesta, de modo que sea rápido de contestar por cada persona encuestada.

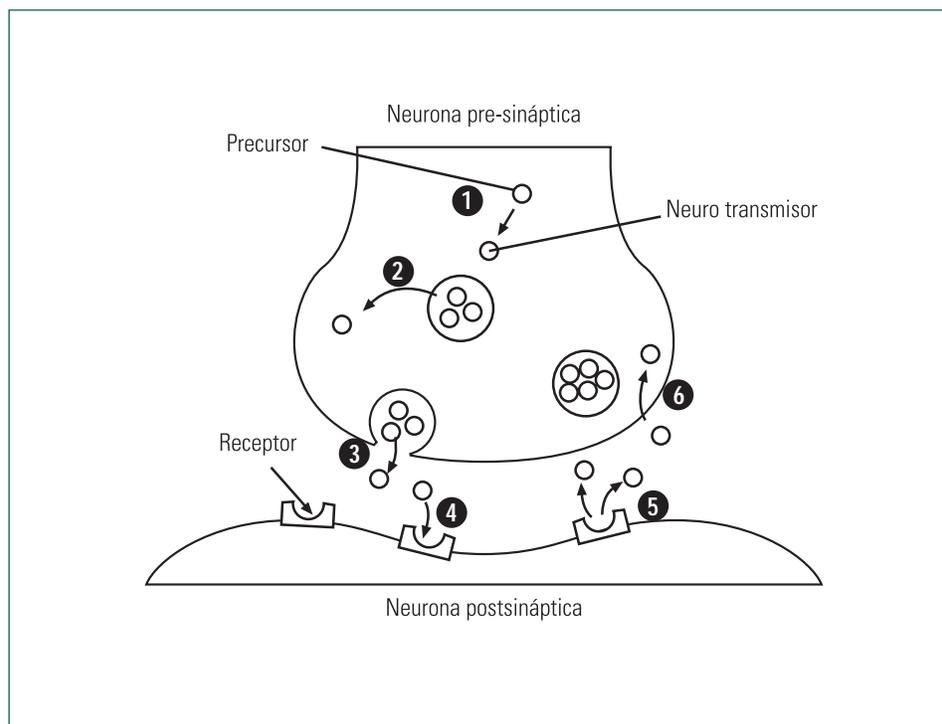
Es importante que la profesora o profesor revise los formularios para las encuestas y los modifique en conjunto con los alumnos, de manera que sean claros, simples y breves.

También pueden entrevistar al personal de consultorios u hospitales, para que obtengan opiniones de primera fuente sobre los antibióticos más consumidos y la frecuencia de su consumo en la población.

**Actividad 3****Analizan algunos mecanismos de acción de drogas adrenérgicas.****Ejemplo**

Los estudiantes analizan la acción de la  $\alpha$ -metildopa.

- El docente presenta a los alumnos y alumnas un esquema como el de la figura, que representa las distintas etapas de la transmisión sináptica que pueden ser afectadas por fármacos:



Sitios de acción	Mecanismo de acción
Síntesis del neurotransmisor	1. Inhibición de las enzimas responsables de la síntesis.
Transporte y liberación del neurotransmisor	2. Aumento del transporte hacia el exterior de la vesícula. 3. Aumento o inhibición de la liberación. 6. Inhibición de la recaptura.
Degradación del neurotransmisor	5. Inhibición de las enzimas que degradan el neurotransmisor.
Interacción con los receptores	4. Activación o bloqueo de receptores postsinápticos.

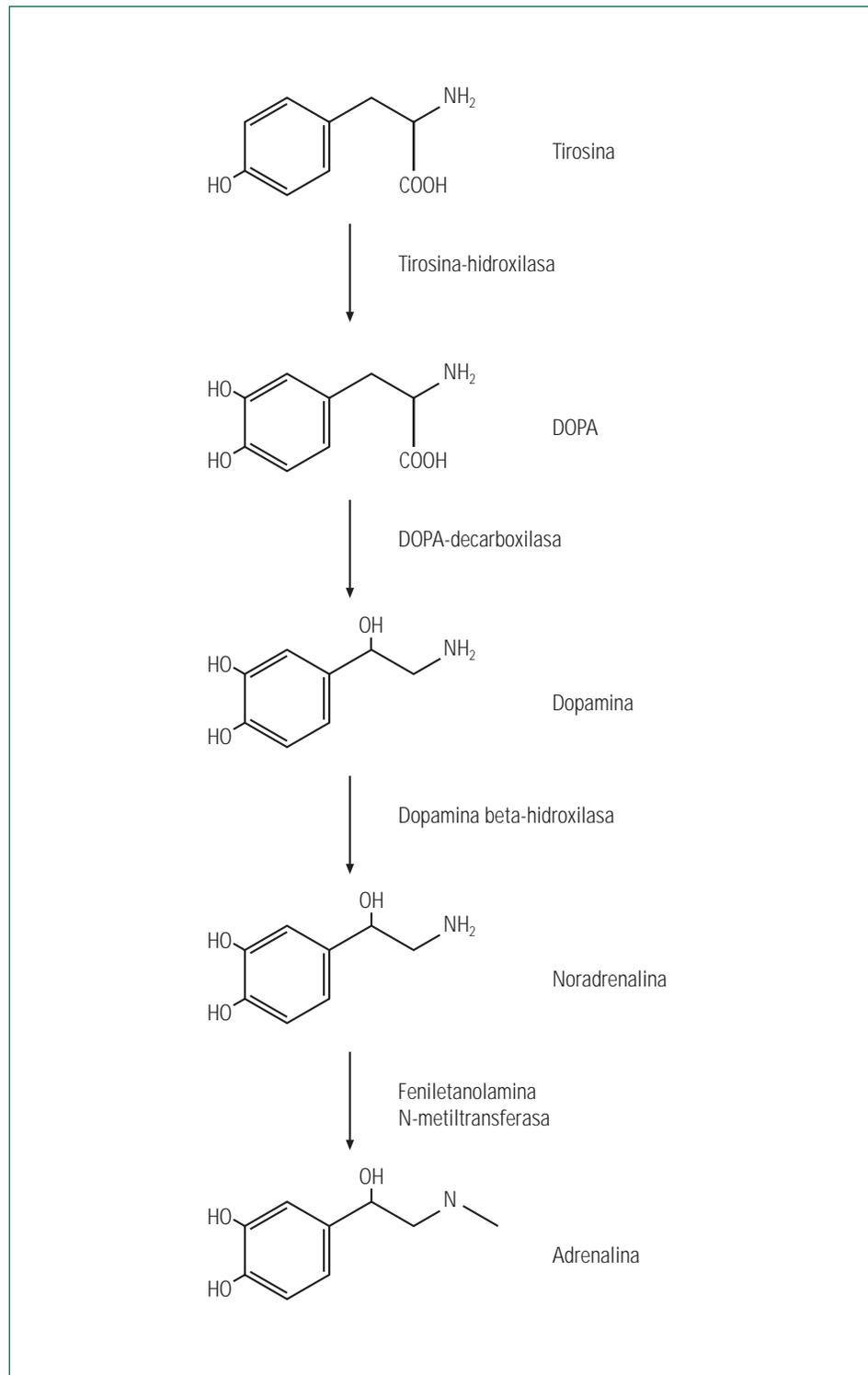
Fuente: Programa de Estudio de Biología, 3<sup>er</sup> Año Medio, Mineduc, Chile, 2000. Pág.56.

- Los estudiantes discuten las distintas fases del proceso de transmisión que puede ser afectado por la acción de drogas.
- Analizan la estructura de la noradrenalina (un neurotransmisor del sistema central y simpático) y la comparan con la estructura del aminoácido tirosina, un precursor de su síntesis. Señalan cuáles son las diferencias entre el precursor y el neurotransmisor.
- Discuten sobre las modificaciones que deben ocurrir durante la etapa de síntesis de la noradrenalina.

Los alumnos y alumnas conocen el mecanismo de acción de la  $\alpha$ -metildopa, una droga que se usa en el tratamiento de la hipertensión, y debaten sobre lo siguiente:

- cómo se explica que la  $\alpha$ -metildopa inhiba la enzima que cataliza esta reacción,
- qué relación tiene la concentración de noradrenalina con la manifestación de hipertensión.

La vía de síntesis de las catecolaminas es la siguiente (*Ver indicaciones al docente*):



- Los estudiantes se informan sobre el efecto inhibitorio que tienen algunas drogas antidepresivas como la desipramina sobre la recaptura de noradrenalina desde el espacio sináptico.

¿Qué se puede concluir respecto de la noradrenalina y su efecto sobre el estado de ánimo?

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Se sugiere al docente que consulte en el Programa de Biología de Tercer Año Medio lo referido al efecto de drogas sobre la transmisión sináptica.

Las catecolaminas son la dopamina (DA), la noradrenalina (NA) y la adrenalina (A), todas las cuales se sintetizan en los sistemas nerviosos central y periférico.

Las catecolaminas A y NA se unen a los mismos receptores, los cuales reciben el nombre genérico de receptores adrenérgicos. Existen dos familias de receptores adrenérgicos los  $\alpha$  y los  $\beta$ . Los  $\alpha$  presentan dos tipos, los  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ , mientras que los receptores  $\beta$  tiene tres subtipos  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ . Estos receptores se localizan en la membrana celular de distintos tejidos.

Los estudiantes pueden debatir la secuencia de cambios estructurales que ha ocurrido, con intervención de diversas enzimas, desde la tirosina hasta la adrenalina. Asimismo, pueden identificar cada una de las reacciones.

La síntesis de catecolaminas requiere de la incorporación de tirosina a la célula. La captación de tirosina es inhibida por la tiramina y la  $\alpha$ -metiltirosina, ambos agentes compiten con la tirosina por la proteína transportadora.

#### Actividad 4

**Analizan las estructuras y la relación estructura-actividad de los principales agentes adrenérgicos.**

Ejemplo

Analizan los factores que determinan la especificidad de los agonistas y antagonistas de los receptores adrenérgicos y cómo la modificación de la molécula de noradrenalina produce diversos fármacos.

Los estudiantes analizan, en conjunto con el docente, los factores que determinan la potencia y especificidad de los agonistas y antagonistas de los receptores adrenérgicos:

- Su afinidad por los receptores.
- Su interacción con los sistemas de captación neuronal.
- Su interacción con las enzimas que degradan a las catecolaminas (MAO y COMT).

El docente propone a varios grupos de estudiantes realizar una investigación sobre la relación estructura-actividad de la molécula de noradrenalina, específicamente cómo ésta puede modificarse para dar lugar a compuestos que interactúan con los receptores adrenérgicos. Cada grupo investiga acerca de uno de los siguientes puntos referidos a esas modificaciones:

- *Incremento de sustituyentes en el átomo de N.*
- Ello produce compuestos que se comportan como agonistas  $\beta$ -adrenérgicos como la adrenalina, isoprenalina y salbutamol. Estos son agentes menos susceptibles de ser captados por el terminal y metabolizados por MAO.

- *Adición de grupos metilo en posición  $\alpha$  en la cadena lateral.*

Ello produce compuestos con más selectividad por los receptores  $\alpha$ -adrenérgicos como es el caso de la  $\alpha$ -metil-noradrenalina y el metaraminol. Estos agentes no son degradados por MAO y son captados por el terminal adrenérgico.

- *Eliminación del grupo OH en posición  $\beta$  de la cadena lateral.*

Esto disminuye la afinidad por los receptores adrenérgicos (Ejemplo, dopamina).

- *Sustitución de los grupos OH en el anillo por grupos electroquímicos semejantes o su transferencia a diferentes posiciones en el anillo.*

Esto produce compuestos resistentes a la acción de la COMT que mantienen su afinidad por el receptor, como es el caso de salbutamol y muchos de los antagonistas  $\beta$ -adrenérgicos. Estos agentes no son captados por el terminal nervioso.

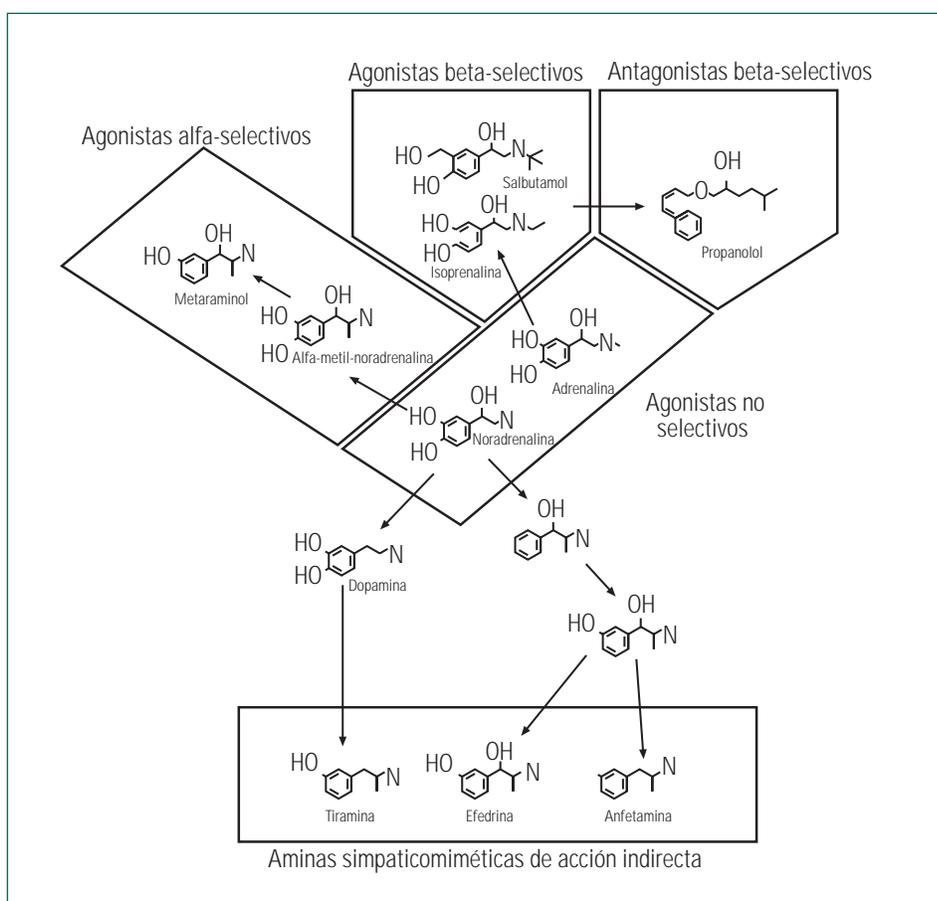
- *Eliminación de uno o ambos grupos OH del anillo.*

Esto disminuye su afinidad por los receptores y aumenta su captación por el terminal nervioso, este es el caso de tiramina, efedrina y anfetamina. Estos agentes se conocen como simpatomiméticos de acción indirecta.

- *Extensión de la cadena lateral con sustituyente isopropilo en el átomo de N y la modificación de los grupos OH del anillo.*

Ello produce potentes antagonistas  $\beta$ -adrenérgicos, como es el caso del propranolol. En cambio, los antagonistas  $\alpha$ -adrenérgicos no siguen este patrón y están constituidos por una familia más heterogénea de fármacos.

El siguiente esquema resume las relaciones estructurales y funcionales de estos fármacos:



#### INDICACIONES AL DOCENTE

Es importante que los estudiantes se interioricen sobre la estructura, función y acción de estos fármacos y de sus potenciales peligros.

## Actividad 5

---

**Los estudiantes indagan sobre aspectos clínicos de algunos agentes adrenérgicos.**

### Ejemplo

Alumnas y alumnos, distribuidos en grupos, averiguan cuál es el uso terapéutico indicado y cuáles son los efectos adversos de uno de los siguientes agentes adrenérgicos:

- Salbutamol
- Propranolol
- Efedrina
- Isoprenalina o Isoproterenol
- Metaraminol
- Adrenalina

### Procedimiento

Los estudiantes, distribuidos en grupos de dos, indagan sobre uno de los mencionados agentes en relación a:

- Año de introducción en el mercado farmacéutico
- Estructura molecular
- Modo de acción
- Uso terapéutico
- Efectos adversos y contraindicaciones
- Valor comercial de 2 formulaciones farmacéuticamente equivalentes.

Confeccionan un portafolio y exponen al curso sobre sus hallazgos. Debaten y comparan entre los diferentes agentes adrenérgicos con respecto a los puntos anteriores.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Para la realización de esta actividad es importante entregar a los estudiantes las siguientes fuentes de información que pueden ser útiles:

- Merck Index (estructuras y fuentes de obtención).
- Farmacopea.
- Farmacología Básica y Clínica.
- Vademécum (catálogos especializados de medicamentos).

En caso de no disponer de estos materiales en su localidad, se recomienda que los alumnos y alumnas los soliciten para su consulta al Químico Farmacéutico encargado de la farmacia local.

Asimismo, se recomienda consultar los sitios web:

**[www.ispch.cl](http://www.ispch.cl)** (este sitio corresponde al Instituto de Salud Pública de Chile, dispone de información sobre diferentes medicamentos).

**[www.thejog.com/urgencias/indice.html](http://www.thejog.com/urgencias/indice.html)**

**[www.canalsalud.com/enlace/medico\\_d\\_familia/mi\\_farmacia\\_virtual/vademecum/VADindiceA.htm](http://www.canalsalud.com/enlace/medico_d_familia/mi_farmacia_virtual/vademecum/VADindiceA.htm)**

**[www.latinsalud.com/Inicio.htm](http://www.latinsalud.com/Inicio.htm)**

**[www.infomedicamento.net](http://www.infomedicamento.net)**

**[www.redfarmaceutica.com](http://www.redfarmaceutica.com)**

## Actividad 6

### Los alumnos y alumnas indagan acerca de adicciones.

#### Ejemplo

Los estudiantes averiguan en fuentes confiables qué es una adicción y qué se sabe sobre sus mecanismos moleculares.

#### Procedimiento

Los alumnos indagan acerca de los siguientes aspectos relacionados con las adicciones:

- ¿Qué es la adicción?
- ¿Cómo se explica dicho fenómeno?
- ¿Qué drogas presentan un potencial adictivo?
- ¿Consideran que una adicción es una enfermedad?
- ¿Cuál es su opinión personal respecto de las motivaciones más profundas que impulsan a una persona a consumir drogas?

Luego realizan un amplio debate sobre los puntos anteriores y sus aspectos valóricos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Para el desarrollo de esta actividad se requiere que los alumnos y alumnas se informen en fuentes autorizadas, más allá de lo que se encuentra comúnmente en periódicos, revistas no especializadas y programas de televisión.

Es importante que se discutan estos aspectos colectivamente y que la discusión se dirija a que los estudiantes entiendan que:

La adicción es una enfermedad, a la cual ellos se exponen al abusar de diferentes drogas con potencial adictivo.

Actualmente no hay un tratamiento farmacológico adecuado para esta enfermedad.

Las drogas con potencial adictivo incluyen el alcohol y el cigarro.

Las drogas de abuso actúan en sitios específicos, la mayoría de los cuales corresponden a proteínas.

La adicción más que un problema solamente social se transforma en un problema de salud mental.

Resulta interesante que los alumnos y alumnas puedan contrastar la noción común (de los padres, profesores de otras asignaturas, informaciones de prensa, etc.) sobre adicción con la información recabada en el desarrollo de esta actividad. Para ello, se puede proponer encuestar a distintos sectores y realizar una exhaustiva y crítica discusión de los resultados.

Algunas fuentes recomendadas para obtener la información son:

**<http://www.nida.nih.gov>** Este sitio web del Instituto Nacional de Salud de EE.UU. está dedicado, en su totalidad, a informar sobre drogas de abuso y contiene material en español. Se encuentran también presentaciones *Powerpoint* de utilidad docente sobre el mecanismo de acción de las drogas de abuso. Una ventaja adicional de este sitio es que está permitida la reproducción de todo el material que contiene.

**<http://www.adicciones/enfermedad/index.html>**

### Actividad 7

Los alumnos y alumnas analizan y discuten el caso de fármacos de alto potencial adictivo.

Ejemplo

Los estudiantes indagan los siguientes aspectos sobre la morfina:

- Uso para el tratamiento del dolor.
- Estructura química.
- Fármacos derivados.
- Posible modo de acción.
- Morfina y adicción.

Realizan ante el curso una breve presentación de sus hallazgos.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Durante el desarrollo de esta actividad se requiere que los alumnos y alumnas se informen sobre el origen, la estructura, el mecanismo de acción, las indicaciones terapéuticas y el potencial adictivo de la morfina, analicen y discutan colectivamente la información recabada. Este ejemplo es útil para destacar los problemas que se han generado con el uso terapéutico de drogas con potencial adictivo. Para ello, se propone revisar las dificultades que hubo para introducir la morfina para el tratamiento del dolor y contrastar con su uso clínico generalizado en la actualidad.

Se recomienda al docente consultar las siguientes fuentes de información y seleccionar de ellas las que estime más apropiadas para los alumnos:

**<http://www.nida.nih.gov/Infobox/Medicamentos-Sp.html>**

**[www.thejog.com/urgencias/71.htm](http://www.thejog.com/urgencias/71.htm)** (información farmacológica)

**[www.psiconautas.com/morfina.htm](http://www.psiconautas.com/morfina.htm)** (origen, estructura etc.)

**[www.tododrogas.net/il/opioides/morfina.html](http://www.tododrogas.net/il/opioides/morfina.html)** (adicción y abuso)

**[www.librosmedicos.com/historia/morfina.htm](http://www.librosmedicos.com/historia/morfina.htm)**

**[www.bemarnet.es/bagdag/morfina.htm](http://www.bemarnet.es/bagdag/morfina.htm)**

## Actividad 8

---

### Los alumnos y alumnas indagan sobre la terapia génica.

#### Ejemplo

Se informan acerca del proyecto del genoma humano y del desarrollo de la terapia génica.

#### Procedimiento

Los estudiantes indagan y debaten en torno a las siguientes preguntas:

- ¿Qué es el llamado proyecto del genoma humano?
- ¿Que es el proyecto HUGO?
- ¿Qué perspectivas tiene el desciframiento del código genético humano?
- ¿De qué orden son las diferencias del código genético humano con las de un ratón?
- ¿En qué consiste la terapia génica?
- ¿Cuántos tipos de terapia génica se conocen?
- ¿Qué enfermedades son susceptibles de ser tratadas con terapia génica?
- ¿Qué métodos se usan en la terapia génica?
- ¿Qué perspectivas tiene esta forma de terapia?
- ¿Qué preocupaciones existen, desde el punto de vista ético, en torno a esta terapia?

Finalmente, se resumen en la pizarra las respuestas a cada una de estas preguntas.

#### INDICACIONES AL DOCENTE

Se recomienda al docente proveer a los estudiantes algunas fuentes de información que pueden ser útiles para el desarrollo de esta actividad:

**<http://www.uchile.cl/bioetica/doc/genoma.htm>** (genoma humano y terapia génica)

**<http://www.terra.es/ciencia/articulo/html/cie4658.htm>** (genoma humano)

**<http://www.terra.es/ciencia/articulo/html/cie5274.htm>** (terapia génica)

**<http://www.biologia.org/revista/numero5/terapiagenica.html>**

Durante el desarrollo de esta actividad es importante que el docente oriente la discusión hacia los alcances que tiene el uso de estas terapias en sus aspectos biológicos, tecnológicos y éticos.

### Observación

Al finalizar cada actividad experimental los estudiantes cooperarán con el docente para dejar ordenado el laboratorio, eliminando responsablemente, esto es, con cuidado del medio ambiente, los restos de todos los reactivos usados en sus actividades. Las sustancias que puedan ser reutilizadas no serán devueltas a sus envases originales, sino que almacenadas aparte en recipientes claramente rotulados.

Las soluciones ácidas y básicas serán neutralizadas con carbonato de sodio y ácido clorhídrico, respectivamente.

Las soluciones neutras serán diluidas con bastante agua y descartadas vertiéndolas en los desagües. La profesora o profesor supervisará que todas estas operaciones sean realizadas de manera adecuada y responsable.

Para la eliminación de las otras sustancias se remite a las indicaciones al docente y a la bibliografía.

## Bibliografía

Seeman P. and Sellers E. M. Principles of Medical Pharmacology. Segunda edición, University of Toronto Press, Canadá, 1976.

Katzung B. G. Farmacología básica y clínica. Editorial El Manual Moderno, México, 1996.

Theoharides T. C. Essential Pharmacology. Segunda edición, Litle, Brown and Company, USA, 1992.

Levine R.R. Pharmacology Drug Actions and Reactions. Tercera edición, Litle, Brown and Company, USA, 1983.

Lipschutz A y Pi-Suñer. Curso práctico de fisiología. Tomo I, Bioquímica y fisiología general. Ed. Javier Morata, Madrid, 1934.

Orozco F., Análisis Químico Cuantitativo. Sexta edición, Editorial Porrúa, S.A., México, 1970.

American Chemical Society, QuimCom: Química en la comunidad. Addison Wesley Longman, México, 1998.

Vega de Kuyper, J. C. Manejo de residuos de la industria química y afín. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 1997.



## Anexo 1: Ejemplos de actividades de evaluación

### Introducción

En este programa, las actividades de evaluación son presentadas a base de ejemplos, para evaluar así los logros de los estudiantes en relación a los aprendizajes esperados de sus unidades y también de los Objetivos Fundamentales Transversales.

En el mismo espíritu de los otros programas de química, las actividades que se describen son sugeridas para que el docente las adapte a sus visiones pedagógicas y, eventualmente, las reemplace por otras que le parezcan más apropiadas y que también apunten hacia los mismos aprendizajes esperados y OFT.

La evaluación será en general un proceso continuo toda vez que exista una interacción en el contexto de enseñanza-aprendizaje.

Es importante que periódicamente el docente explicita con claridad qué aspectos y cómo están siendo evaluados. Es lógico que si los estudiantes saben bien en qué consiste el proceso de evaluación, también sabrán qué es importante observar en las diferentes etapas del desarrollo del programa.

También es esencial que el docente explique a los estudiantes que la evaluación no necesariamente tiene que traducirse en una calificación.

La evaluación es multidimensional, ya que pretende evaluar diversos aspectos del proceso enseñanza-aprendizaje, y su forma de aplicación acepta diferentes modalidades, por ejemplo:

- Pruebas escritas de desarrollo.
- Ensayos rápidos tipo “test” como pre-evaluación.
- Trabajos grupales de indagación, investigación bibliográfica, trabajos experimentales, entrevistas y visitas a industrias.
- Trabajos que muestren la comprensión en la realización de actividades experimentales a través de protocolos de trabajo e informes.

- Disertación sobre temas escogidos por los estudiantes o el docente.
- Entrevistas a expertos o breves encuestas de información, principalmente aplicable a la unidad de farmacología.
- Evaluación, realizada por la docente, con respecto a la dedicación, minuciosidad y seriedad en el trabajo experimental, cuidado de sí mismo, de los compañeros y de los materiales de experimentación.
- Evaluación respecto del cuidado del medio ambiente en la realización de los experimentos y en la eliminación de los residuos.
- Confección de portafolios.
- Autoevaluación de desempeño, que debe considerar el esfuerzo personal, el cuidado y rigor en la búsqueda de información, la dedicación, el compañerismo, la honestidad en la presentación de los resultados y en la realización efectiva de trabajos individuales o grupales.

Es importante que alumnas y alumnos frecuentemente ejerciten sus habilidades, verbalicen sus aprendizajes y que estructuren su lenguaje usando conceptos y términos recientemente adquiridos.

Es importante que la profesora o profesor exija a sus estudiantes un uso preciso y adecuado del lenguaje en relación a su nivel educativo: esto es, que cada término sea usado en el contexto que corresponde. Se recomienda exigir a los estudiantes distinguir con claridad entre los modelos utilizados para describir estructuras e interacciones y las realidades que dichos modelos pretenden representar.

Los ejemplos que se presentan a continuación no son exhaustivos y sólo pretenden ilustrar algunas posibles modalidades de evaluación.

## Ejemplos de preguntas para la evaluación

---

Unidad 1, Ejemplo 1.

### Evaluación a través de una prueba escrita

#### Aprendizajes esperados

- Distinguen entre sólidos cristalinos y amorfos.
- Identifican sólidos metálicos, iónicos y moleculares.
- Asocian a algunas estructuras cristalinas propiedades características.

#### Actividad

Desarrollar de manera clara y sucinta lo siguiente:

1. Imagine que dispone de una lupa o microscopio, un pequeño cincel, un martillo y un trozo de material sólido a investigar.
  - a. ¿Cómo podría decidir si el sólido es cristalino o amorfo?
  - b. ¿Considera que con ese equipamiento puede realizar bien el trabajo encomendado? Fundamentar.
  - c. Un compañero le aconseja estudiar la curva de enfriamiento. ¿Qué se entiende por esto?
2. Por ensayo determina que un sólido es soluble en agua y cuando intenta determinar su punto de fusión, no logra fundirlo.
  - a. ¿Qué tipo de sólido es el investigado? Explicar.
  - b. Si el sólido es soluble en agua pero carece de datos de su punto de fusión. ¿Qué ejemplos puede dar, en base a su experiencia, de sólidos que son solubles en agua pero que son estructuralmente muy diferentes?
3. Se determinó que un sólido translúcido es insoluble en agua. ¿Cuál de los siguientes tipos de sólido podría ser:
  - i. metálico
  - ii. iónico
  - iii. molecular polar
  - iv. molecular apolar
  - v. covalente (molécula gigante)? Fundamente su respuesta.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Distingue entre un sólido cristalino y uno amorfo.
- Relaciona la estructura de un sólido con la propiedad de solubilidad.
- Conoce de manera general los factores que determinan la solubilidad de un sólido.
- Atiende a las medidas de seguridad.
- No aventura juicios cuando carece de elementos suficientes para emitirlos.
- Reconoce los rasgos esenciales de un problema a investigar.
- Se expresa en forma clara, breve y precisa.
- Utiliza el lenguaje científico de manera apropiada.

Unidad 1, Ejemplo 2.

## Evaluación a través de un trabajo de investigación experimental

### Aprendizajes esperados

- Identifican sólidos metálicos, iónicos y moleculares.
- Asocian a algunas estructuras cristalinas propiedades características.

### Actividad

Los estudiantes reciben una porción de un sólido blanco.

El protocolo que se les sugiere realizar consiste en lo siguiente:

1. Observar el sólido con una lupa o microscopio.
2. Tratar de disolver el sólido en muy poca agua. (Resultado: se disuelve bien).
3. Evaporar el agua y observar con lupa. (Resultado: se regeneran los cristales).
4. Calentar una pequeña porción del sólido en una cápsula de porcelana. (Resultado: no funde ni sublima).
5. Disolver un poco del sólido en agua y ensayar su conductividad con un detector de conductividad. (Resultado: la conductividad aumenta).
6. Unas gotas de la disolución anterior se tratan con nitrato de plata. (Resultado: se obtiene un precipitado blanco).
7. Indagan qué tipo de sustancias dan precipitado blanco con nitrato de plata.

Los estudiantes deben decidir si la sustancia examinada es iónica, molecular o covalente macromolecular (molécula gigante) y fundamentar su respuesta a base de los hallazgos realizados en su investigación.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Descarta (provisoriamente) la hipótesis de que se trata de un sólido macromolecular, basándose en que el sólido se disuelve bien en agua y que se recupera por recristalización.
- Infiere que un notorio aumento de la conductividad es consecuente con la hipótesis de que se trata de un sólido iónico y contradice la hipótesis de sólido macromolecular.
- Deduce, de la reacción con nitrato de plata, que podría tratarse de un haluro.
- Considera consecuente la hipótesis de un sólido iónico con el hecho de que la muestra presenta un alto punto de fusión.
- Atiende a las medidas básicas de seguridad.
- Enuncia sus juicios apropiadamente pero sin exagerar el peso de las evidencias.
- Se expresa en forma clara, breve y precisa.  
(Clave: El sólido entregado es cloruro de potasio).

---

Unidad 1, Ejemplo 3.

## Evaluación a través de la confección de un modelo cristalino

### Aprendizajes esperados

- Distinguen entre sólidos cristalinos y amorfos.
- Comprenden el concepto de celda unidad y cómo por su repetición espacial se puede generar formalmente un cristal (ideal).

### Actividad

Los estudiantes deben construir un modelo de una celda unidad: 1. Utilizando plastilina y palos de maqueta, greda u otro material construyen un modelo de la celda unidad de un cristal de KCl (red tipo NaCl).

2. Dibujan a escala la celda y representan un trozo de la red cristalina por repetición de la celda.
3. Construyen una celda distorsionada, para lo cual reducen la longitud de dos aristas paralelas opuestas.
4. Ensayan formar una red por repetición de esa unidad distorsionada y explican el resultado.
5. Describen y dibujan el orden que se imaginan en un sólido amorfo.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Representa correctamente en su geometría una celda unidad.
- Da cuenta de la relación aproximada de tamaños de aniones y cationes.
- Genera una red cristalina de manera conceptualmente acertada por repetición de la celda unidad.
- Advierte que es imposible generar un sólido cristalino por repetición de la celda distorsionada.
- Muestra destreza manual en la construcción del modelo.
- Muestra cuidado en la realización de su trabajo.
- Representa en forma apropiada un sólido amorfo.
- Hace una distinción adecuada entre un sólido cristalino y uno amorfo.

Unidad 1, Ejemplo 4.

## Evaluación a través de una actividad experimental

### Aprendizajes esperados

- Comprenden el concepto de celda unidad y cómo por su repetición espacial se puede generar formalmente un cristal.
- Reconocen los diferentes empaquetamientos de los metales (estructuras cúbica centrada en el cuerpo, cúbica compacta y hexagonal compacta).

### Actividad

Basándose en los ejemplos desarrollados en las actividades N° 9 (Unidad 1, parte 1) y N° 1 (Unidad 1, parte 2) los estudiantes analizan lo siguiente:

1. En un arreglo bidimensional de esferas iguales reconocen los diferentes tipos de ordenamientos que se generan al superponer capas sobre la primera.
2. Una vez desarrollado el punto anterior, ubican una segunda y tercera capa de esferas, individualizan los arreglos cúbico y hexagonal compacto, determinando si en un mismo volumen de estos empaquetamientos es posible empaquetar un mayor número de esferas que en el otro.
3. Hacen predicciones en relación a la densidad relativa de ambos tipos de empaquetamientos.
4. Ensayan con esferas de dos tamaños que tienen una relación de radios aproximadamente igual a 0,7. Ensayan diferentes empaquetamientos y deciden cuál es el mejor. Fundamentan su elección, en el supuesto que las esferas representan iones de carga opuesta de igual magnitud.
5. Identifican la celda unidad en el empaquetamiento escogido y la representan mediante un modelo concreto y un dibujo.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Diferencia de manera clara el empaquetamiento hexagonal del cúbico.
- Infiere correctamente, a base de los empaquetamientos de esferas iguales, cuál de ellos corresponde al sólido de mayor densidad.
- Calcula la relación correcta de tamaños iónicos estimándolos a partir de las esferas entregadas y determina mediante el modelo cuál estructura cristalina es la más apropiada.
- Identifica la estructura obtenida anteriormente como la típica del NaCl.
- Representa correctamente la celda unidad en el modelo.
- Exhibe destreza en la realización de su trabajo.

Unidad 1, Ejemplo 5.

## Evaluación a través de la confección de un portafolios

### Aprendizajes esperados

- Relacionan las propiedades conductoras, semiconductoras o aisladoras de un sólido con su estructura electrónica.
- Conocen acerca de fallas o defectos cristalinos.

### Actividad

Elaboran un portafolios desarrollando, por grupos, dos grandes temas:

- Los materiales y relación de su estructura con su conductividad eléctrica.  
Qué son los aisladores, semiconductores y conductores desde el punto de vista de su estructura electrónica y cómo se explican esas propiedades.
- Importancia de las fallas cristalinas para la catálisis heterogénea.  
Tipos de fallas cristalinas más corrientes y su representación mediante modelos.  
Qué son los catalizadores heterogéneos y estudio de una reacción heterogénea de interés industrial en la cual se utilicen catalizadores.

Una vez elaborado el portafolios exponen al curso el tema y lo debaten ampliamente.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Describe adecuadamente aisladores, semiconductores y conductores.
- Da ejemplos cotidianos de esos materiales.
- Relaciona las propiedades de dichos materiales con su estructura.
- Diferencia entre un sólido ideal y uno real.
- Distingue entre los tipos de fallas cristalinas más corrientes.
- Representa las fallas correctamente mediante modelos.
- Demuestra desarrollo de habilidad en la construcción de modelos.
- Caracteriza los rasgos esenciales de un catalizador en medio heterogéneo.
- Explica con claridad y dominio del tema el mecanismo de la reacción heterogénea escogida.
- Acoge dudas e intenta aclararlas con esmero.
- Utiliza adecuadamente el lenguaje científico.
- Muestra conocer con propiedad los temas desarrollados y no se limita a reproducir la información sin comprenderla.
- Accede a información adicional relevante no entregada por el docente, ya sea de manera directa o como cita bibliográfica, internet, etc.

Unidad 1, Ejemplo 6.

## Evaluación a través de una actividad grupal

### Aprendizajes esperados

- Valorar la importancia de las aplicaciones de los materiales cerámicos, particularmente de los superconductores.

### Actividad

Distribuidos en grupos de no más de tres, escogen un tema entre los siguientes presentados por el docente:

- La conductividad eléctrica de metales en función de la temperatura, considerando los casos límites: temperaturas próximas a la del He líquido y temperaturas en las proximidades del punto de fusión del respectivo metal. Comparación entre distintos metales.
- Sólidos cerámicos superconductores: su síntesis y estructura.
- Avances históricos en el desarrollo de los superconductores de alta temperatura.
- ¿Cómo se transmite la electricidad en un superconductor?
- La dimensión molecular: macromoléculas biológicas y comparación de su tamaño con una molécula de agua y una célula de la piel.
- Proyecciones tecnológicas anunciadas para la nanotecnología.

Cada tema deberá ser desarrollado en forma veraz, amena y bien documentada, para ser luego presentado en forma de poster por los estudiantes y expuesto, eventualmente, a alumnos de otros cursos.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Realiza un trabajo cuidadoso y con rigor.
- Utiliza adecuadamente recursos gráficos, tablas e ilustraciones en un contexto explicativo y relacionado con el tema en discusión.
- Identifica los aspectos esenciales del tema y es capaz de exponerlos con suficiente claridad.
- Cita las fuentes de información.
- Accede a información adicional relevante no entregada por el docente, ya sea de manera directa o como cita bibliográfica, internet, etc.
- Muestra comprensión del tema que ha desarrollado y no se limita a reproducir información sin haberla comprendido.
- Respeta y escucha las opiniones de otros estudiantes, aunque diverjan de las propias.
- Acoge críticas en forma abierta y constructiva.
- Aclara dudas y responde de manera apropiada todas las consultas.
- Reconoce que hay aspectos del tema que están fuera de su comprensión.
- Emplea con propiedad el lenguaje científico.
- Consulta al docente acerca de contenidos que no entiende.

Unidad 2, Ejemplo 1.

## Evaluación a través de la realización de una encuesta

### Aprendizajes esperados

- Reconocen las diversas fuentes de obtención de drogas con actividad terapéutica.
- Distinguen entre una droga (o fármaco) y un medicamento.

### Actividad

En grupos de dos alumnos o alumnas realizan una encuesta que permita obtener información sobre la opinión del público frente a tres temas, que podrían ser formulados a través de las siguientes preguntas:

- ¿Son los componentes naturales mejores para la elaboración de un medicamento que los preparados por reacciones químicas?
- ¿Es lo mismo un fármaco que un medicamento?
- ¿Cómo piensa usted que actúa un medicamento sobre el organismo?

Cada grupo deberá encuestar a 20 personas y confeccionar luego un breve informe con los resultados de la encuesta.

(Los alumnos no reciben mayor indicación de qué parámetros deben considerar para realizar la encuesta. Se les indicará que además de esas tres preguntas sólo podrán hacer una consulta adicional referida al nivel educacional del encuestado (por ejemplo: EB incompleta, EB, EM incompleta, EM, educación técnica o universitaria). Ellos podrán tomar nota de otros datos, pero sin hacer preguntas, por ejemplo, edad aproximada de la persona encuestada, sexo, comuna(s) o barrio(s) en que fue aplicada, etc.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Se informa bien acerca de cómo se realiza una encuesta.
- Realiza una adecuada preparación de la encuesta (confección de formularios, elección cuidadosa del lugar para realizarla, forma de llevarla a cabo, etc).
- Hace la encuesta de manera completa y cuidadosa.
- Cuida que los datos obtenidos sean representativos (elige igual número de personas de ambos sexos, incluye varios rangos de edad y de nivel educacional).
- Presenta los datos de manera atractiva (en forma de gráficos, tablas, diagramas).
- Considera que el pequeño tamaño de la muestra no le permite hacer inferencias de toda la población de los puntos considerados en la encuesta.
- Se preocupa de comparar, complementar y completar su información con la obtenida por otros grupos de estudiantes para que tenga un mayor valor y representatividad.

Unidad 2, Ejemplo 2.

## Evaluación a través de un trabajo de investigación

### Aprendizajes esperados

- Identifican entre la diversidad de agentes químicos aquellos con actividad terapéutica y aquellos nocivos para la salud.
- Conocen los mecanismos generales de acción de las drogas.

### Actividad

Investigan en diversas fuentes y desarrollan alguno de los siguientes temas:

- Fuente de obtención y modo de acción de un fármaco de origen vegetal (fitofármaco), escogido entre los siguientes:  
centella asiática (activa colágeno I), ginkgo biloba (antioxidante), thymus vulgaris (antimicrobiano), arnica montana (antiinflamatorio), glycyrrhiza glabra (activa prostaglandinas) y psidium guajava (antagonista del calcio).
- La homeopatía: su invención, diferencias principales en relación a los fármacos convencionales, comparación de resultados terapéuticos; componentes que se utilizan en la preparación de los preparados homeopáticos.
- Los venenos naturales y sus beneficios: el veneno de la serpiente, inhibidor de la enzima convertidora de angiotensina (ECA). La historia detrás de la síntesis del fármaco captopril (antihipertensivo).

El tema es desarrollado en forma de un informe y luego expuesto ante el curso.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Desarrolla el tema atendiendo a sus rasgos esenciales.
- Incluye en el informe escrito sólo información que el estudiante comprende.
- Muestra un adecuado dominio del tema durante su exposición.
- Se expresa en forma clara, breve y precisa.
- Indica claramente las fuentes de información utilizadas.
- Utiliza el lenguaje científico de manera apropiada.
- Acoge preguntas y las responde directamente.
- Considera puntos de vista diferentes al suyo y los sopesa como válidos.
- Reconoce que hay aspectos del tema que no comprende.
- Consulta al docente durante la realización del trabajo sobre los puntos que le merecen dudas.

Unidad 2, Ejemplo 3.

## Evaluación a través de una prueba escrita

### Aprendizajes esperados

- Distinguen entre una droga y un medicamento.
- Conocen los mecanismos generales de acción de las drogas.

### Actividad

Desarrollan lo esencial referido a:

1. En qué se diferencia una droga de un medicamento. Dar dos ejemplos de drogas y de medicamentos.
2. De qué maneras pueden actuar las drogas cuyo blanco son las enzimas. Dar un ejemplo de una de ellas.
3. Qué es un agonista y un antagonista. Hacer un esquema de cómo actúa cada uno de ellos.
4. Realice un breve análisis en términos químicos de la acción de la aspirina sobre el proceso inflamatorio. (Se da fórmula estructural del ácido acetilsalicílico).

Fundamente sus respuesta lo mejor posible.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Distingue entre una droga y un medicamento.
- Conoce ejemplos de drogas y de medicamentos de uso corriente.
- Explica claramente las tres maneras en que las drogas actúan sobre las enzimas.
- Conoce algún ejemplo de dichos mecanismos.
- Distingue entre la función de un agonista y la de un antagonista.
- Relaciona la estructura química de la aspirina con la inhibición de la enzima ciclooxigenasa, productora de prostaglandinas y tromboxano.
- Reconoce en el ácido acetilsalicílico una funcionalidad química similar a la del ácido araquidónico.
- Se expresa en forma clara, breve y precisa.
- Sus respuestas son redactadas ordenadamente.
- Distingue entre lo esencial e importante y lo accesorio.
- Utiliza el lenguaje científico de manera apropiada.
- Muestra interés y motivación en la realización de la prueba.
- Trabaja de manera individual y no intenta sonsacar información del docente a través de preguntas.

---

Unidad 2, Ejemplo 4.

## Evaluación a través de una actividad experimental

### Aprendizajes esperados

- Distinguen entre una droga y un aditivo alimenticio.

### Actividad

Esta actividad de evaluación se basa en la actividad 12 (parte 1 de la Unidad 2), que consiste en averiguar el contenido de vitamina C en bebidas.

Se solicita a los estudiantes hacer un análisis de las fuentes de error y distinguir entre errores sistemáticos y no sistemáticos.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Conoce el fundamento químico de la determinación realizada.
- Identifica al ácido ascórbico claramente como un aditivo alimenticio y no como una droga.
- Realiza el trabajo con esmero y entusiasmo.
- Presenta sus resultados de manera ordenada y en una secuencia lógica.
- Realiza esquemas o dibujos para ilustrar mejor su trabajo.
- Conoce la razón de ser de las diferentes etapas y condiciones del trabajo experimental realizado.
- Obtiene resultados con un margen razonable de error.
- Identifica las fuentes de error y las analiza.
- Distingue un error sistemático de uno que no lo es.
- Atiende a las medidas de seguridad.
- Cuida las instalaciones y los materiales de experimentación.
- Ayuda a sus compañeros y comparte los materiales.
- Utiliza el lenguaje científico de manera apropiada.
- Cita las fuentes de información de manera completa (autores, fecha, nombre del texto, editorial, n° de edición, ciudad o país).
- Consulta información complementaria no entregada por el docente.

Unidad 2, Ejemplo 5.

Evaluación a través de la confección de un portafolio.

### Aprendizajes esperados

- Comprenden el fenómeno de adicción a drogas como una enfermedad.

### Actividad

Confeccionan un portafolio sobre la adicción a drogas considerando los aspectos 1, 3 y 4 o 2, 3 y 4.

1. La cocaína: estructura química, grupos funcionales y modo de acción sobre el organismo.
2. La morfina: su estructura química, grupos funcionales, uso terapéutico y su potencial adictivo.
3. Drogas y adicción: aspectos familiares y sociales.
4. Drogas: ¿en qué consiste el proceso de rehabilitación?

Algunos de los trabajos son elegidos por el docente para ser expuestos ante el curso.

### Indicadores

El alumno o alumna:

- Ejecuta su trabajo de manera ordenada y cuidadosa.
- Dibuja la fórmula estructural de la molécula.
- Identifica los grupos funcionales y los nombra correctamente.
- Relaciona la estructura de la molécula con su modo de acción.
- Describe el modo de acción de la droga sobre el organismo.
- Considera diversos aspectos familiares y sociales de la drogadicción.
- Incluye consideraciones valóricas en su trabajo.
- Es objetivo en sus juicios.
- Indaga por diversos medios y extrae la información relevante.
- Se expresa en forma clara, breve y precisa.
- Acoge consultas de sus compañeros y acepta puntos de vista contrarios a los propios.
- Reconoce una porción de verdad en los juicios emitidos por sus compañeros o compañeras.
- No aventura juicios cuando carece de elementos suficientes para emitirlos.
- Utiliza el lenguaje científico de manera apropiada.

## Anexo 2: Normas de seguridad en el laboratorio químico

Un OFT importante (autocuidado, persona y entorno) es el manejo del riesgo: el aprender a prevenir aquellos que son evitables y saber qué hacer en situaciones de riesgo.

Aquí se exponen las principales normas de seguridad que son aplicables a la mayoría de las situaciones experimentales en los trabajos del laboratorio escolar.

Es importante recalcar que la adecuada evaluación de los riesgos en la experimentación sólo puede ser realizada por el profesor o por la profesora de acuerdo con las características del grupo de alumnos, el tamaño del curso y la calidad del entorno, vale decir, la infraestructura disponible. La responsabilidad de los estudiantes y su capacidad para seguir instrucciones son criterios fundamentales en esta evaluación.

Es lógico que el docente modifique las actividades experimentales de modo que el riesgo de éstas sea consecuente con su percepción de lo que es aceptable en las condiciones en que se desempeña su labor. Si trabaja en un laboratorio espacioso y bien instalado, con un ayudante y con varios monitores, en un curso pequeño que se caracteriza por su orden y responsabilidad, podrá proponer experimentos seguros que bajo otras condiciones involucrarían un alto riesgo.

Es importante que alumnas y alumnos manejen bien el concepto de riesgo y sean capaces de reconocer que la vida moderna, si bien ha eliminado algunos riesgos, ha creado otros. Vivir sin riesgo es imposible. Es riesgoso cruzar la calle, movilizarse en bus, en automóvil o en bicicleta. En el hogar se manipulan artefactos eléctricos, se usa gas en la cocina y también otros combustibles en las estufas; se utilizan he-

rramientas punzantes o cortantes (tijeras y cuchillos cartoneros). Se manipulan fósforos y soluciones corrosivas (hipoclorito de sodio) o líquidos inflamables (quitaesmalte, queroseno, bencina blanca, etc.). En la vida laboral hay profesiones y actividades que encierran más riesgo que otras: se trabaja en instalaciones eléctricas, en talleres con máquinas automáticas con piezas móviles a alta velocidad, se manipulan sustancias inflamables, se trabaja en altura o en las profundidades de una mina. El laboratorio es también una escuela para la vida: se debe actuar consecuentemente para que los estudiantes aprendan cómo manejarse apropiadamente y con seguridad en situaciones de riesgo.

En general, es aconsejable la instrucción de 2 a 3 monitores entre los alumnos más responsables, diestros e interesados en la química. Ello permitirá mejorar las condiciones de trabajo en el laboratorio, particularmente en lo relacionado con la seguridad de todos los estudiantes.

Las siguientes reglas deberán ser de conocimiento y dominio de todos los alumnos y alumnas. Se podrá elaborar un documento que resuma dichas normas, disponiendo al final de éste una colilla que el alumno o alumna firmará declarando conocer esas reglas y comprometiéndose a cumplirlas cabalmente por su seguridad, la de sus compañeros y la del docente. Es importante que dichas reglas sean redactadas en forma fundamentada, breve, clara y categórica. Dichas normas deberán ser debatidas y fundamentadas por alumnas y alumnos, de modo que conozcan la razón de ser de cada una de ellas.

- Los estudiantes deberán preparar sus sesiones experimentales de modo que estén bien informados acerca de lo que harán, qué tipo de operaciones realizarán, cómo las ejecutarán y con qué fin, así como los riesgos que dichas actividades involucran.
- Jamás trabajar solo en el laboratorio, o sin supervisión del docente.
- Alumnos y alumnas evitarán correr, jugar o empujarse dentro del laboratorio, ya que estas conductas involucran muy alto riesgo para ellos y sus compañeros(as).
- El uso permanente de gafas de seguridad es obligatorio.

La docente querrá dar el ejemplo utilizándolas permanentemente. De otro modo, no se puede esperar que alumnas y alumnos estimen correctamente el riesgo que involucra no usarlas.

- En el laboratorio no se usarán sandalias y el pelo largo tendrá que sujetarse apropiadamente para proveer una visión despejada, evitando que se aproxime a la llama de los mecheros. También ello ayudará a prevenir otros accidentes que pueden producirse al enredarse aquél en los implementos de trabajo o al volcar recipientes. Evitar asimismo el uso de prendas de vestir sueltas, tales como bufandas, delantales o chalecos sin abrochar.
- Los estudiantes vestirán preferentemente delantal o ropas viejas cuando trabajen en el laboratorio, evitando así estropear sus uniformes o ropa en mejor condición.
- Las bocas de los tubos de ensayos que son calentados jamás deberán apuntar hacia sí mismo o en dirección a otros compañeros.
- Nunca se deberá probar sustancias químicas y para detectarlas por olfato se sostendrá el tubo con el brazo extendido y se usará la otra mano abierta para desplazar hacia sí una pequeña cantidad de gases o vapores. Jamás se olerá directamente en la salida del recipiente.

- No se usarán recipientes destinados a alimentos (tazas, vasos, jarros, botellas de bebida, etc.) para manipular, verter o almacenar sustancias químicas. Estas conductas han producido graves accidentes, a veces fatales.
- Como única excepción de la norma anterior, si se ocupara para algún trabajo específico de laboratorio un frasco o envase de bebidas o alimentos, previamente se dibujará sobre éste, con lápiz permanente grueso, la representación estilizada de una calavera y dos tibias cruzadas, con la leyenda VENENO. Este uso obligará a destruir el envase inmediatamente después de ser utilizado.



Será responsabilidad de cada alumno o alumna destruir el envase inmediatamente después de ocuparlo, de modo que no pueda ser reutilizado. En caso de recipientes de vidrio, deberán pedir instrucciones al docente para evitar cortes.

- No se utilizarán recipientes del laboratorio para usos domésticos.  
Es un mal ejemplo para los estudiantes ver que el docente utiliza matraces para hervir agua para el té, o usa vasos de precipitado para beber. Esos recipientes contienen trazas de sustancias que pueden ser muy dañinas al organismo.
- No se debe beber o comer dentro del laboratorio, debido al riesgo de ingerir, junto con los alimentos, contaminantes volátiles presentes en el aire y partículas en suspensión o depositadas sobre dichos alimentos.
- Al finalizar cada sesión de laboratorio alumnos y alumnas lavarán sus manos cuidadosamente con jabón.
- Evitar el uso de las manos sin guantes o de las ropas para limpiar los mesones de trabajo.
- No usar los termómetros como varillas de agitación; son muy frágiles y su rotura puede producir heridas con daño de nervios y tendones de la mano.

- Jamás debe calentarse un recipiente o envase cerrado. La explosión proyectará esquirlas y trozos grandes de material que pueden ser tan peligrosos como un disparo de un arma de fuego.
- La manipulación de ácidos y álcalis concentrados, particularmente ácido sulfúrico, nítrico, acético y clorhídrico, y amoníaco o hidróxido de sodio, será realizada por el docente o por los monitores especialmente entrenados para ello. En casos excepcionales podrán hacerlo los alumnos bajo directa y cuidadosa supervisión del docente.
- Todo líquido, muy en especial los ácidos concentrados y las sustancias tóxicas, irritantes o corrosivas, serán aspiradas sólo con ayuda de una propipeta. Jamás se aspirará con la boca.
- No pipetear directamente de las botellas de reactivos: separar primero la cantidad aproximada a usar en un vaso graduado y luego pipetear de éste.
- Jamás devolver el exceso de reactivos a la botella o frasco original. Ello no sólo evita equivocaciones que pueden producir accidentes, sino que también preserva la pureza de los reactivos costosos e incrementa la fiabilidad en su uso.
- Jamás se calentarán o mezclarán directamente sustancias concentradas oxidantes con reductoras, ya sea como sólidos o soluciones, ya que pueden producirse reacciones muy violentas, frecuentemente en forma de explosiones. Especialmente riesgosos son oxidantes fuertes como ácido nítrico, nitratos, permanganatos, cloratos, percloratos, peróxidos y dicromatos en contacto con reductores, particularmente sustancias o materiales orgánicos.
- Nunca se mezclarán soluciones concentradas de ácidos con soluciones concentradas de bases o viceversa. Las reacciones de neutralización son en estas condiciones muy violentas, a veces explosivas, y pueden proyectar porciones de ácido o base hirviendo.
- Los ácidos concentrados se agregarán lentamente, con agitación suave, sobre agua o disoluciones acuosas. Jamás se invertirá el orden de adición. Ello es particularmente peligroso en el caso del ácido sulfúrico.
- Material de vidrio trizado, con bordes rotos o con saltaduras (“estrellas”) debe ser desechado inmediatamente ya que es potencialmente peligroso.
- No se calentarán directamente cápsulas Petri u otro material de vidrio que no sea apropiado a ese fin.
- Las destilaciones y trabajos a vacío se realizarán únicamente en matraces de fondo redondo, jamás en matraces Erlenmeyer u otro tipo de recipientes.
- Trabajos que involucren desprendimiento de vapores irritantes, tóxicos o corrosivos deberán realizarse al aire libre o en el interior de una campana de extracción.
- Todo dispositivo para ser utilizado con pilas o eliminadores de pila jamás deberá ser conectado a la red de electricidad doméstica (220 V), ya que ello involucra un riesgo fatal de electrocución.
- Las manos deben estar perfectamente limpias y secas cuando se accionen enchufes, interruptores y, en general, cualquier componente de un circuito eléctrico.
- No se almacenarán en el laboratorio ácidos fuertes en conjunto con álcalis ni sustancias oxidantes junto con sustancias reductoras.
- Los solventes (alcohol etílico, metanol, acetona) se dispondrán sólo en pequeñas cantidades (0,25-0,5 L). Las botellas se mantendrán cerradas y alejadas de toda fuente de calor (estufas, calefactores, mecheros, ampolletas encendidas, etc). El éter etílico jamás debe ser utilizado en el laboratorio escolar por su alta inflamabilidad y porque forma peróxidos que involucran grave riesgo de explosión.

- Jamás se calentará solventes inflamables (alcohol, queroseno, acetona, etc.) en forma directa en un recipiente, siempre al baño maría, evitando el uso de llama abierta (mecheros u otros dispositivos). Tampoco se calentarán dichos solventes con un calentador de inmersión.
  - El uso de los calentadores de inmersión en el laboratorio es riesgoso y debe estar reservado al docente, jamás a los estudiantes.
  - Nunca realizar experimentos no autorizados por la o el docente.
  - No intentar esconder fallas, sino más bien reportarlas de inmediato.
  - La eliminación de residuos debe ser hecha de acuerdo a pautas específicas de seguridad y cuidado del medio ambiente.
  - Toda operación de laboratorio que merezca duda en cuanto a los riesgos que involucra deberá ser consultada a la profesora o al profesor.
  - El laboratorio deberá contar al menos con un extintor apropiado de tamaño mediano, que pueda ser manipulado sin excesivo esfuerzo físico y utilizado sin riesgo en instalaciones eléctricas y en el combate del fuego de sustancias químicas. Asimismo, se dispondrá de un botiquín básico con los implementos mínimos de primeros auxilios.
  - El laboratorio debe disponer de una puerta de escape fácilmente accesible y, en lo posible, de una ducha que pueda ser accionada con una llave tipo palanca.
  - Se preferirá el uso de placas calefactoras o, en último caso, de mecheros de alcohol a los mecheros de gas, que son muy riesgosos para el laboratorio escolar.
  - Se usarán preferentemente termómetros de alcohol, en vez de los de mercurio que son de mucho mayor costo y potencialmente peligrosos en caso de rotura. Suele ser imposible eliminar todo los residuos del mercurio, que a temperatura ambiente libera vapores en concentraciones tales que pueden producir daños al sistema nervioso.
  - El docente deberá saber, ya antes de iniciar las actividades de laboratorio, a quién o a quiénes del colegio o liceo deberá recurrir en caso de que se accidente un estudiante y qué acciones concretas deberá emprender (avisar a enfermería, llamar una ambulancia de un servicio determinado, avisar a la Dirección del colegio, comunicarse con los apoderados, etc.).
- Los alumnos y alumnas con aptitudes para el dibujo o caricaturas podrán confeccionar algunas historietas ilustradas o dibujos en los que aparezcan situaciones que violan una o varias de estas reglas. Los demás estudiantes analizarán dichas ilustraciones y explicarán por qué representan conductas riesgosas y por qué se deben evitar. También podrán montar una obra de teatro o hacer una animación en la que se simulen esas conductas riesgosas, que luego serán comentadas y debatidas por el resto del curso.
- Los estudiantes no están por lo general plenamente conscientes de las graves consecuencias que puede involucrar un accidente. Se recomienda al docente mostrar ello a través de películas o videos, pero también es importante que las alumnas y alumnos realicen y comenten algunos de los siguientes ejercicios:
- Se mantienen 10 minutos con un ojo cubierto e intentan llevar una vida normal dentro de la sala de clases.
  - Amarran los cordones de los zapatos con una sola mano.
  - Se colocan el delantal con la mano izquierda, sin usar la derecha.
  - Se abrochan los botones del delantal con una sola mano.
  - Intentan cortar un trozo de papel con una tijera usando sólo la mano izquierda (o la derecha para el caso de los alumnos zurdos).
  - Escriben y comen sólo con la mano izquierda.
  - Permanecen 10 minutos en círculo, conversando y disponiendo de audición de sólo un oído.

Estos ejercicios son muy útiles y enseñarán a los estudiantes que:

- una incapacidad producida por un accidente puede acarrear limitaciones graves para la vida de las personas;
- deben cuidar su cuerpo, acatando siempre las indicaciones del docente en cuanto a las normas de seguridad;
- deben ser solidarios y comprensivos con sus compañeros y con todas las personas que están afectadas por alguna incapacidad física o síquica.