

Polímeros entrecruzados o reticulados



Center for Nanotechnology Education



Este material está basado en trabajo apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia bajo la Concesión Número 0802323 y 1204918. **Cualquier opinión, hallazgos, conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las del autor(es) y no necesariamente representan las opiniones de la Fundación Nacional de Ciencias.**



Este trabajo está licenciado por [“Creative Commons Attribution-NonComercial-ShareAlike 3.0 Unported License”](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Basado en un trabajo en www.nano-link.org.

Polímeros entrecruzados o reticulados

Abstracto

Este módulo les permite a los estudiantes investigar las fuerzas e interacciones a escala molecular mezclando diferentes líquidos con un polímero entrecruzado/reticulado. Este polímero (poliacrilato de sodio) comparte similitudes estructurales con la celulosa y el colágeno. Las interacciones dependen de la distribución de cargas en el líquido y de la temperatura. Observando los diferentes resultados obtenidos con los diferentes líquidos, los estudiantes pueden comparar y contrastar las interacciones basadas en los diferentes tipos de enlaces atómicos y moleculares.

Resultados

Los estudiantes adquirirán un conocimiento básico de la estructura atómica y los enlaces intermoleculares en los materiales poliméricos.

Prerrequisitos

Ciencias a nivel de octavo grado.

Correlación

Conceptos Científicos

- Interacciones electrostáticas entre los átomos en una molécula.
- La naturaleza de los polímeros.
- Distribución de cargas en las moléculas (uniforme y no uniforme).

Conceptos de Nanociencia

- Las fuerzas que actúan a escala nanométrica resultan en fenómenos macroscópicos observables.

Información de trasfondo

Polímeros

Un polímero es un material que contiene muchas partes enlazadas químicamente o muchas unidades enlazadas entre sí que en conjunto forman un sólido. La palabra *polímero* literalmente significa “muchas partes”. Dos materiales poliméricos (polímeros) importantes en la industria son los plásticos y los elastómeros. Los plásticos son un grupo extenso y variado de materiales sintéticos los cuales se procesan moldeándolos u otorgándoles forma. De la misma forma en que existen distintos tipos de metales como el aluminio y el cobre, existen distintos tipos de plástico como el polietileno y el nilón. Los elastómeros o gomas (cauchos) pueden deformar su elasticidad en gran medida cuando se les aplica una fuerza y pueden volver a su forma original (o casi por completo) cuando se libera dicha fuerza.

Los polímeros tienen muchas propiedades que los hacen atractivos para su utilización en ciertas aplicaciones. Muchos polímeros:

- tienen menor densidad que los metales y las cerámicas,
- resisten distintas formas de corrosión adicional a la provocada por las condiciones atmosféricas,
- ofrecen buena compatibilidad con el tejido humano y
- exhiben excelente resistencia a la conducción de corriente eléctrica.

Los polímeros plásticos pueden clasificarse en dos categorías, termoplásticos y termoendurecibles, dependiendo de cómo están enlazados estructuralmente y químicamente. Los polímeros termoplásticos incluyen 4 materiales básicos – polietileno, polipropileno, poliestireno y cloruro de polivinilo. También existe un gran número de polímeros de ingeniería que son especializados. El término *termoplástico* indica que estos materiales se derriten al calentarlos y pueden ser procesados por una variedad de técnicas de moldeo y extrusión. Por otro lado, los polímeros termoendurecibles no se pueden derretir después de que se forman. Estos consisten de cadenas moleculares que han reaccionado químicamente entre sí para formar una red fuerte a través de un proceso llamado reticulación (“crosslinking”). Los polímeros termoendurecibles incluyen las resinas alquídicas, amino y fenólica, resinas epoxídicas, poliuretanos y poliésteres insaturados.

Algunos polímeros como la goma y la celulosa, ocurren en la naturaleza y pueden ser producidos por plantas u hongos. Los polímeros sintéticos son creados a través de la ingeniería combinando átomos de hidrógeno y carbono con un arreglo en cadena específico. La molécula de un polímero es una cadena larga de átomos enlazados covalentemente. Adicional, hay enlaces secundarios que mantienen a los grupos de cadenas poliméricas unidas para formar el material polimérico. Los polímeros son producidos primordialmente de materia prima del petróleo o de gas natural, pero el uso de sustancias orgánicas para producirlos sigue en aumento. Los polímeros son materiales muy útiles porque su estructura puede ser alterada o adaptada para producir materiales 1) con una variedad de propiedades mecánicas, 2) en un espectro extenso de colores y 3) con distintas propiedades de transparencia. Por ejemplo, el material conocido como “Kevlar” es un polímero sintético que puede utilizarse en chalecos a prueba de balas, marcos más fuertes y ligeros y en cables submarinos que son 20 veces más fuerte que el acero.

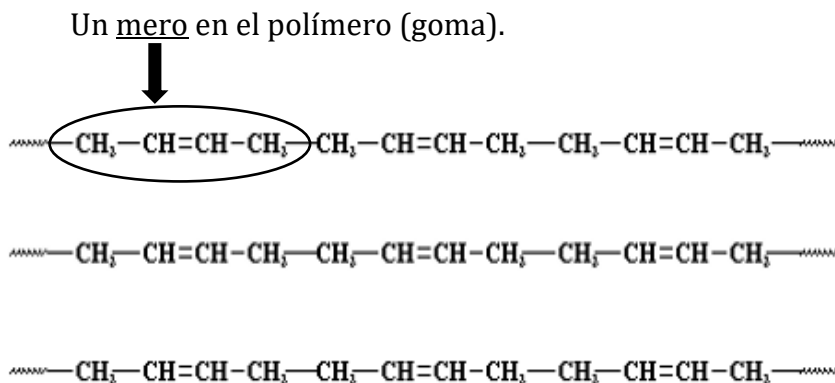
Estructura polimérica

Términos

- Mero – unidad química repetitiva en una cadena polimérica.
- Monómero – un solo mero o una sola unidad ($n=1$).
- Polímero – muchos meros o muchas unidades en la cadena ($n = 10^3$ o mayor).
- Grado de polimerización – el promedio de meros o unidades en una cadena.

• Mero: un grupo de átomos (molécula).

• Polímero: un grupo de “meros” repetitivos.

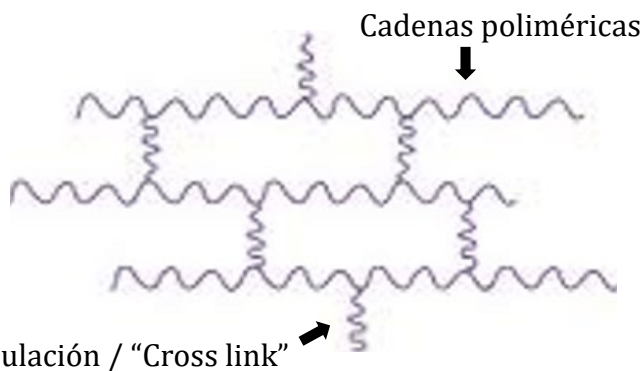


Monómeros

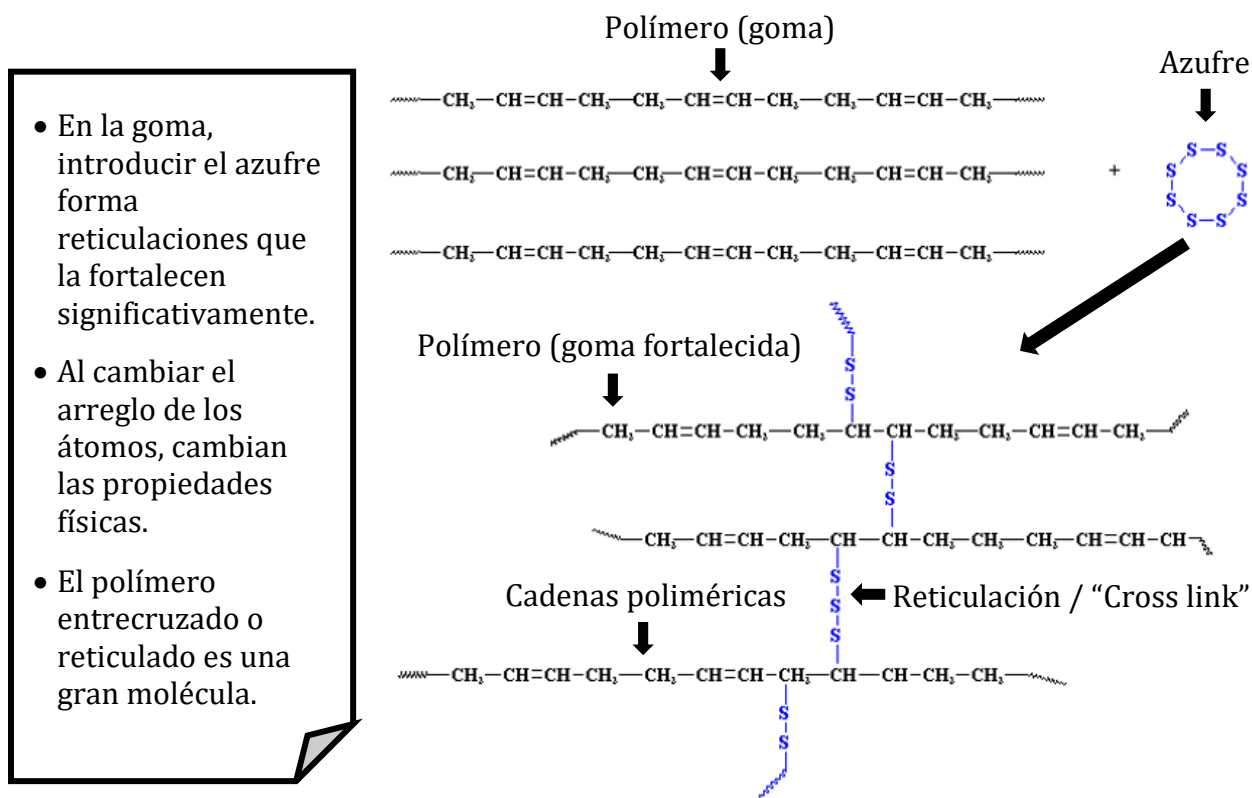
Un polímero está compuesto de muchas moléculas simples que son unidades estructurales repetitivas llamadas monómeros. Un polímero puede consistir de cientos hasta millones de monómeros que se pueden arreglar de forma lineal, ramificada o en red. Los enlaces covalentes mantienen unidos a los átomos en las moléculas poliméricas (el polímero). Adicional, hay enlaces secundarios que mantienen a los grupos de cadenas poliméricas unidas para formar el material polimérico. Los copolímeros son polímeros compuestos de dos o más diferentes tipos de monómeros.

Polímeros entrecruzados o reticulados

Al polímero utilizado en esta actividad (una variedad de poliacrilato de sodio) se le conoce como un polímero entrecruzado o reticulado porque tienen cadenas de átomos más cortas que sirven como conectores entre las cadenas poliméricas más largas.

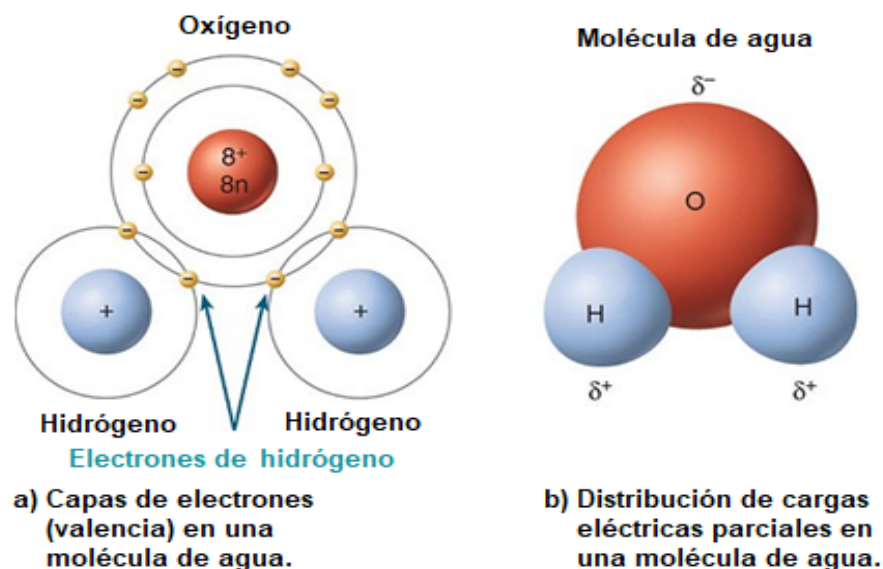


Esta estructura es similar a la de celulosa y el colágeno. Es también la estructura de la goma (caucho) fortalecida. Las cadenas de polímero que se encuentran en la goma natural son bien flexibles y al calentarse el material se vuelve fluido. Se descubrió que, al introducir azufre a la goma natural, el azufre forma enlaces entre las cadenas largas del polímero en la goma y mejora significativamente su respuesta al aumento en la temperatura. Esto quiere decir que la goma utilizada en las llantas de los automóviles es un polímero entrecruzado o reticulado.



Los enlaces entre los átomos del polímero al igual que los enlaces en las cadenas cortas tienen fuerzas específicas. Cuando un material como un líquido (en el caso de esta actividad) es añadido al polímero, pueden ocurrir cambios en el mismo si las fuerzas de atracción entre el fluido (líquido) con los átomos en las cadenas cortas (las reticulaciones o "cross links system") es mayor o más fuerte que los enlaces entre los átomos de las cadenas cortas con los del polímero.

Para esta actividad, el fluido inicial que se añadirá al polímero entrecruzado o reticulado seco será agua. El agua es naturalmente una molécula dipolar, ya que una región tiene carga parcialmente negativa y la otra región de la molécula tiene carga parcialmente positiva. Como las cargas opuestas se atraen y las cargas iguales se repelen, la naturaleza dipolo del agua forma enlaces entre las moléculas individuales. Estos enlaces se conocen como enlaces o puentes de hidrógeno. Las moléculas de agua tienden a tener una forma triangular, donde el extremo parcialmente negativo está localizado cercano al oxígeno (la punta del triángulo) y el extremo parcialmente positivo está localizado cercano al hidrógeno (la base del triángulo).

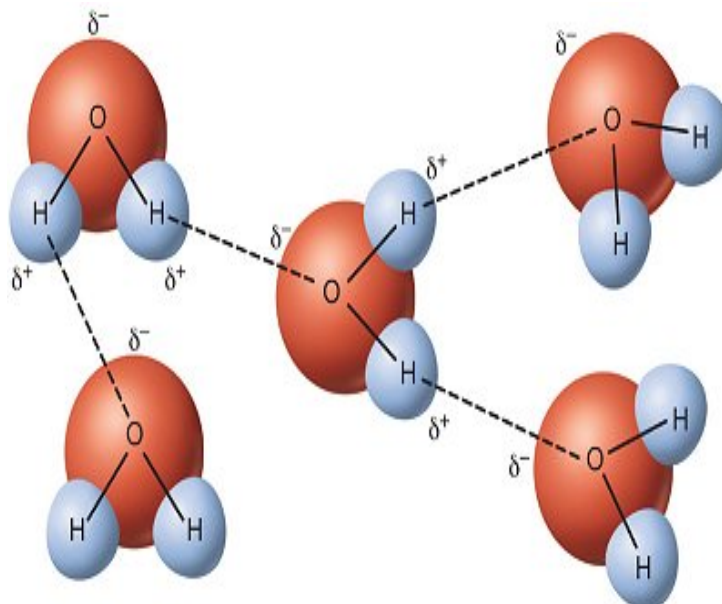


Ref.: alevelnotes.com

Cuando el agua se introduce al sistema del polímero entrecruzado o reticulado ocurren interacciones entre los extremos cargados de las moléculas de agua y los átomos en la estructura del polímero entrecruzado o reticulado. Si la interacción entre la molécula de agua y el átomo es más fuerte que el enlace manteniendo el átomo en la estructura del polímero, entonces los enlaces se rompen y ese átomo será desplazado de la estructura entrecruzada o reticulada. En ese punto, los átomos han sido rearrreglados y las propiedades físicas del sistema del polímero entrecruzado o reticulado han cambiado.

En esta actividad diferentes fluidos pueden ser añadidos al polímero entrecruzado seco y obtener resultados significativamente diferentes. Los diferentes resultados dependen de la distribución de cargas en las moléculas del fluido. Las moléculas similares al agua por ser dipolares, multipolares o tener una distribución de cargas no uniforme interaccionarán con el polímero de manera similar al agua. Otros fluidos, con moléculas con distribución de cargas uniforme, tendrán una interacción menos responsiva.

Finalmente, la temperatura puede tener un efecto dramático, especialmente con el agua caliente y fría. Dentro de un sistema de moléculas de agua, muchos de los extremos parcialmente cargados están enlazados con otras moléculas de agua a través de puentes de hidrógeno.



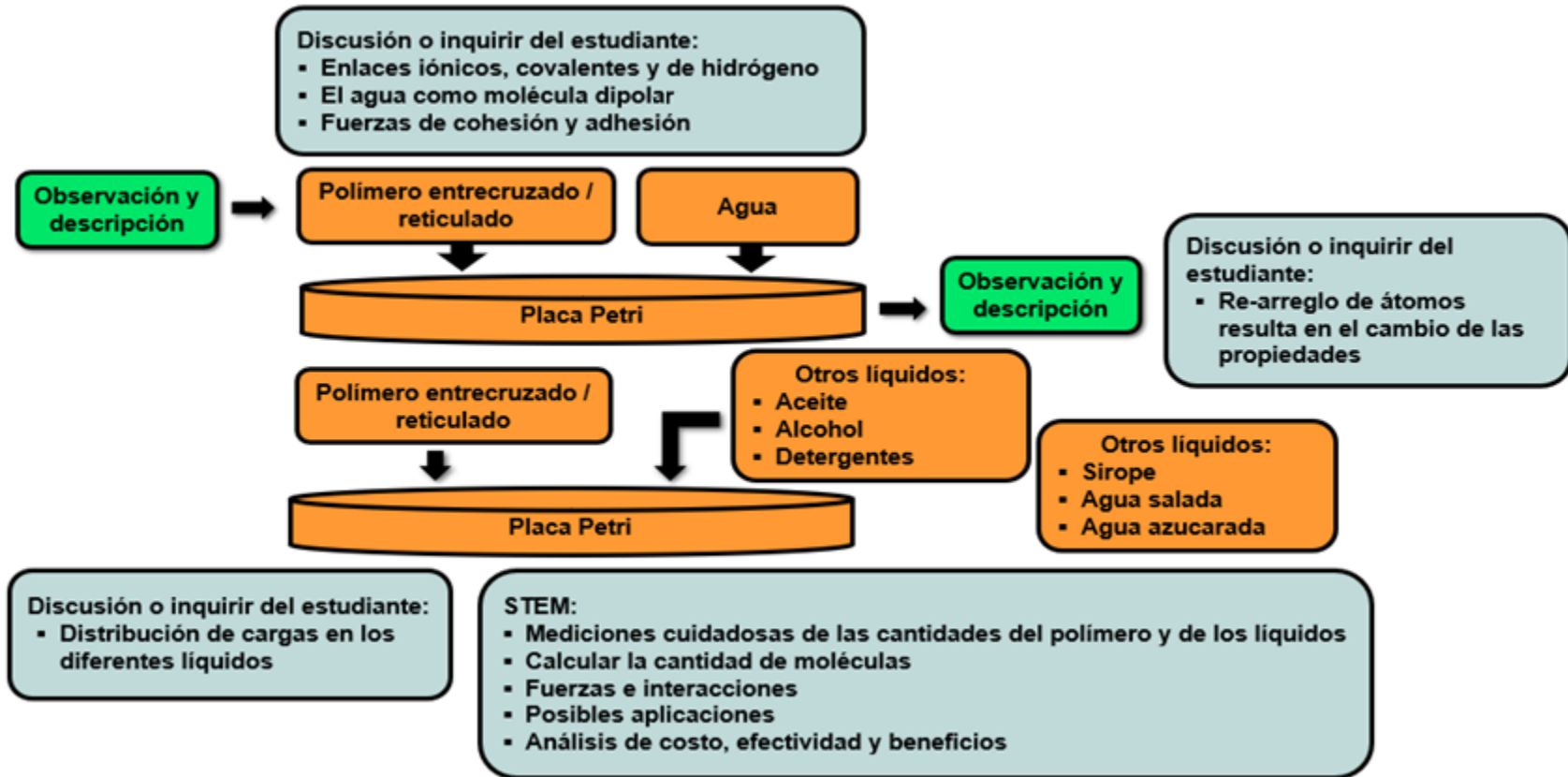
Ref.: glogster.com

Cuando el agua se calienta, se introducen en el sistema de moléculas de agua vibraciones inducidas de manera termal. A cierta temperatura, las vibraciones inducidas termalmente serán más fuertes que los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua, ocasionando que los enlaces se rompan o separen. Como consecuencia, habrá mayor cantidad de moléculas de agua con regiones cargadas disponibles para interactuar con los átomos del polímero.

Al colocar la misma cantidad del polímero en dos placas Petri y añadirle la misma cantidad de agua – una caliente y una fría – se observará una drástica diferencia en el tiempo que le toma al polímero expandirse.

Actividad de aprendizaje: Polímeros entrecruzados o reticulados

Flujograma de la actividad



Video de la actividad

- <https://www.youtube.com/watch?v=bhQv57PbkQM>

Actividad de aprendizaje: Polímero entrecruzado o reticulado

Trasfondo

Un polímero es un material que contiene muchas partes o unidades enlazadas químicamente las cuales también se enlazan entre sí para formar un sólido. La palabra polímero literalmente significa “muchas partes”. Muchos polímeros ocurren en la naturaleza como el almidón, la celulosa y la quitina (exoesqueleto de algunos organismos). Los polímeros sintéticos incluyen todo tipo de plásticos.

En este laboratorio explorarás las propiedades de un polímero entrecruzado o reticulado especial llamado poliacrilato de sodio. Este polímero es similar a la celulosa; tiene una estructura molecular en cadena en forma de zigzag la cual le otorga sus propiedades elásticas, mientras que el entrecruzamiento o reticulación (“cross-linking”) entre las cadenas en zigzag ayuda a mantener una estructura rígida.

Materiales

- Placa Petri
- Agua
- Otros líquidos como alcohol, detergente, aceite, agua con sal, agua con azúcar, peróxido de hidrógeno, etc.
- Polímero entrecruzado o reticulado (poliacrilato de sodio)
- Pipeta plástica desechable
- Balanza
- Vasos de laboratorio pequeños



Procedimiento

1. Coloca una pequeña cantidad del polímero en la placa Petri, tócalo y observa sus propiedades físicas.
2. Utilizando una pipeta plástica desechable vierte agua u otro líquido al material.
3. Observa lo que ocurre.
4. Toca el material resultante, ¿cómo han cambiado sus propiedades físicas?

Resultado

1. ¿Qué observaste?
2. ¿Por qué piensas que esto ocurrió?

- *Respuesta: Si el líquido utilizado fue agua; el agua, una molécula dipolar, interactúa y afecta los enlaces entre el entrecruzamiento o reticulación ("cross-linking") y el polímero. Al cambiar el arreglo a nivel atómico las propiedades físicas del material cambian.*

Trasfondo opcional: Polímeros termoplásticos y termoendurecibles

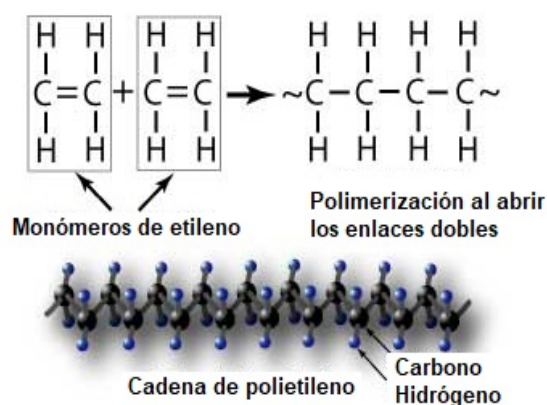
Un polímero es un material orgánico y la base de todo material orgánico es una cadena de átomos de carbono. El átomo de carbono tiene cuatro electrones de valencia. Cada uno de estos electrones puede formar un enlace covalente con otro átomo de carbono o con un átomo de otro elemento. La clave para la estructura del polímero es que dos átomos de carbono pueden tener hasta tres enlaces comunes y aún así pueden enlazarse con otros átomos. Los elementos que frecuentemente se encuentran en los polímeros y sus números de valencia son: hidrógeno, flúor, cloro, boro y yodo con un electrón de valencia; oxígeno y azufre con dos electrones de valencia; nitrógeno con tres electrones de valencia; carbono y silicón con cuatro electrones de valencia.

La habilidad de las moléculas para formar cadenas largas es vital para producir un polímero. Considera el material polietileno, el cual está formado por el monómero etileno, C_2H_4 . Etileno es un gas con dos átomos de carbono en la cadena y cada uno de los dos átomos de carbono comparten dos electrones de valencia uno con el otro. Si dos moléculas de etileno se unen, uno de los enlaces de carbono en cada molécula se rompe y ambas moléculas se unen con un enlace de carbono-carbono.

Luego de que los monómeros se unen, quedan dos electrones de valencia libres a cada extremo de la cadena para unirse con otros monómeros o cadenas de polímeros. El proceso puede continuar uniendo más monómeros y polímeros hasta que se detiene por la adición de otro químico llamado el terminador, el cual llena el enlace disponible a cada extremo de la molécula. Esto se conoce como polímero lineal y es la base (o el bloque de construcción) para los polímeros termoplásticos.

La cadena del polímero usualmente es ilustrada en dos dimensiones, pero es una estructura tridimensional. Cada enlace carbono-carbono está a 109° del próximo y, por tanto, el esqueleto o base de carbono se extiende en el espacio como una cadena retorcida. Cuando se les aplica estrés a las cadenas, estas se estiran y la elongación del polímero puede ser mil veces mayor de lo que es en su estructura cristalina como en la sílice o el hierro.

La longitud de la cadena del polímero es de gran importancia. Mientras el número de átomos de carbono en la cadena aumenta en los cientos, el material atravesará su estado líquido y será un sólido ceroso. Cuando el número de átomos de carbono en la cadena sea sobre los 1,000 se obtiene el material sólido polietileno, con sus características de fuerza, flexibilidad y dureza. El cambio en estado ocurre porque mientras la longitud de la molécula aumenta, las fuerzas totales de enlace entre las moléculas también aumentan.



Las moléculas de los polímeros generalmente no se encuentran en una estructura de línea recta; su estado natural es similar a una masa enredada. Los materiales termoplásticos, como el polietileno, pueden imaginarse como una masa de gusanos enredados al azar dentro de un cubo. Las fuerzas de enlace son el resultado de las fuerzas van der Waals entre las moléculas y el enredo mecánico de las cadenas. Cuando los materiales termoplásticos se calientan, hay mayor movimiento molecular y los enlaces entre las moléculas pueden romperse fácilmente. Esta es la razón por la cual los materiales termoplásticos pueden derretirse y moldear en diferentes formas, volverse a derretir y reutilizarse muchas veces.



Lineal Ramificado Red

Diferentes tipos de "esqueletos" o estructuras con base de carbono

Existe otro grupo de polímeros en el cual el producto de la polimerización es una gran red y no muchas moléculas individuales del polímero. Como la polimerización inicialmente se logra calentando la materia prima y uniéndolas, este grupo se conoce como polímeros o plásticos termoendurecibles.

Para que este tipo de estructura en red se forme, los monómeros deben tener más de dos lugares para que ocurran los enlaces; de lo contrario solo es posible una estructura lineal. Estas cadenas forman estructuras articuladas y en anillos, y pueden doblarse hacia adelante y hacia atrás para asumir una estructura cristalina parcial.

Como los polímeros termoendurecibles constan de una gran molécula, no hay movimiento entre las moléculas una vez la masa se ha establecido. Los polímeros termoendurecibles son rígidos y generalmente tienen mayor fuerza que los polímeros termoplásticos. Además, como no hay oportunidad de movimiento entre las moléculas en un polímero termoendurecible, no pierden dureza y no son suaves o fluidos cuando se calientan.

Trasfondo opcional: Fuerzas a diferentes escalas

Por cientos de años hemos descubierto, estudiado y cuantificado una multitud de fuerzas o energías – esta amplia área de fenómenos tiene un impacto en la interacción de toda la materia. Por mucho tiempo solo pudimos observar la manifestación de estas fuerzas en macroescala. Las agujas del compás moviéndose por la influencia de fuerzas magnéticas, las manzanas cayéndose de los árboles por la gravedad y las partículas de polvo pegándose a las superficies debido a la fuerza electroestática, son todos ejemplos de las fuerzas trabajando. Mientras nuestros equipos y herramientas (tanto las experimentales como las matemáticas) han ido mejorando, hemos podido observar más y más interacciones a escalas más pequeñas.

Desde el punto de vista de la física existen cuatro fuerzas fundamentales: electromagnetismo, gravitacional, fuerza débil (la que gobierna ciertos tipos de decadencia radioactiva) y fuerza fuerte (la cual mantiene unido al núcleo atómico). Todas estas fuerzas son consideradas fuerzas de campo, no fuerzas de contacto. Con las fuerzas de campo los objetos no tienen que estar en contacto directo para experimentar la fuerza. A través de los cursos de introducción a la física conocemos también fuerzas como la fricción (estática y cinética) y otras fuerzas que pueden ser ejercidas por resortes. Estos tipos de fuerzas son fuerzas de contacto.

Nuestra discusión puede extenderse para incluir interacciones, fuerzas y energía asociada a vibración, rotación, movimiento Browniano y enlaces químicos a escala atómica y molecular. Una lista más completa de fuerzas podría incluir:

- Fuerza gravitacional
- Fuerza electromagnética
- Fuerzas nucleares débiles y fuertes
- Enlaces químicos: iónicos, covalentes y metálicos
- Fuerza que causa el movimiento Browniano
- Fuerzas de van der Waals y de London (a poca distancia)
- Fricción
- Fuerzas elásticas
- Fuerza Casimir

Las distintas fuerzas e interacciones tendrán distinta prioridad a diferentes escalas. A nivel de átomos y moléculas la fuerza más importante es el electromagnetismo. Esta fuerza domina la interacción entre los átomos mientras se enlazan con otros átomos para formar moléculas y, por tanto, es la responsable por todo lo que llamamos *química*. Los enlaces químicos tienen un impacto a nanoescala. El tipo de enlace químico que une a dos átomos afectará la estabilidad, organización y estructura cristalina de un material. Lo mismo ocurre cuando las moléculas se enlazan, las fuerzas electromagnéticas dan lugar a interacciones conocidas como dipolo/dipolo, dipolo inducido/dipolo inducido, fuerza de van der Waals, fuerza London, etc.

Algo que es absolutamente crítico en la discusión de fuerzas e interacciones en todas las escalas es que **todas** estas fuerzas e interacciones están presentes **todo** el tiempo independientemente de la escala que estemos observando. La gravedad no desaparece en la nanoescala, de la misma forma las vibraciones en un polímero no dejan de ocurrir en la macroescala. Todas estas interacciones ocurren todo el tiempo, la diferencia está en la **prioridad** con la que afecta nuestra conciencia de la misma y capacidad para medirla (la fuerza o interacción). Veremos que a diferentes escalas la prioridad en términos de importancia de la fuerza o interacción va a cambiar.

Cuando observamos objetos en nanoescala, estamos observando la lista de fuerzas con diferente prioridad; por ejemplo, la fuerza gravitacional no es de gran importancia en nanoescala. Le estamos pidiendo a los estudiantes que observen fuerzas que son mucho menos familiares que las fuerzas clásicas que pueden haber aprendido en las clases introductorias de ciencias.

Preguntas

1. ¿Cuáles son algunas de las fuerzas que actúan en toda la materia?
2. ¿Cuáles de esas fuerzas son las más importantes en la nanoescala?
3. ¿Qué son polímeros? Describe su estructura molecular.
4. ¿Cuál es la diferencia entre los polímeros termoplásticos y termoendurecibles? Específicamente, describe sus diferencias en términos de
 - a. comportamiento bajo calor y
 - b. sus estructuras moleculares.
5. ¿Cuál es la estructura molecular del poliacrilato de sodio?
6. ¿Qué se observa al verter agua líquida a una muestra de poliacrilato de sodio?
7. Explica las observaciones realizadas en términos de fuerzas e interacciones a nanoescala.

Usos presentes y aplicaciones futuras

Los usos presentes de los polímeros son múltiples y diversos. Esto es especialmente cierto para los polímeros lineales y reticulados. Es probable que cualquier habitación en la que estés sentado tenga muchos tipos de polímeros, desde las pinturas y barnices en las paredes hasta los hilos de poliéster en la ropa y la goma sintética en las suelas de los zapatos.

Las aplicaciones futuras de poliacrilato de sodio sin duda se basarán en su capacidad para absorber grandes cantidades de agua.

Recursos multimedia

Videos

- http://www.youtube.com/watch?v=Vais8pL0w8U&feature=player_embedded

Simulaciones

- www.nanohub.org
- mw.concord.org

Artículos

1. “History of Polymers and Plastics for Students”, en “American Chemistry Council”. Sitio web: <http://plastics.americanchemistry.com/Education-Resources/Hands-on-Plastics/Introduction-to-Plastics-Science-Teaching-Resources/History-of-Polymer-and-Plastics-for-Students.html> (recuperado el 09/03/2014).
2. “Plastics”, en “ExplainThatStuff”. Sitio web: www.explainthatstuff.com/plastics.html (recuperado el 09/03/2014).
3. “What is a polymer?”, una actividad para el salón de clases disponible en “Polymer Ambassadors”. Sitio web: www.polymerambassadors.org (recuperado el 09/03/2014).
4. “What is a polymer: Discovering The Basics of Polymers”, en “About.com”. Sitio web: composite.about.com/od/whatsacomposite/a/What-Is-A-Polymer.htm (recuperado el 09/03/2014).
5. “Plastics Recycling”, una cartilla en los tipos de plásticos sintéticos y cómo se reciclan, desarrollada por kid-tech.org. Disponible como archivo en formato PDF en: www.kid-tech.org/projects/plastics_students.pdf.

Reconocimientos

- Contribuyentes – Desarrollado por Deb Newberry y Billie Copley de “Dakota County Technical College”. Traducido al español por Rodfal A. Rodríguez y María T. Rivera de Cupey María Montessori School.