

# Polímeros de anillo



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-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License”](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Basado en un trabajo en [www.nano-link.org](http://www.nano-link.org).

## Polímeros de anillo

### Abstracto

Este módulo es una variación de la actividad sobre los polímeros entrecruzados o reticulados y presenta mucho del mismo trasfondo de la estructura y propiedades de los polímeros. En esta versión se utiliza una forma de poliacrilato de sodio con una estructura atómica distinta a la del polímero entrecruzado o reticulado. El poliacrilato de sodio utilizado en esta actividad es el polímero súper absorbente presente en los pañales desechables (absorbe agua). Este polímero absorbe líquido atrapándolo en su estructura de anillo. Esto depende de la relación entre las fuerzas de cohesión (atracción entre moléculas iguales) y adhesión (atracción entre moléculas diferentes). Este módulo puede utilizarse para que los estudiantes practiquen destrezas de matemáticas al calcular la cantidad de moléculas de agua que han sido absorbidas.

### 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 electroestáticas entre los átomos en una molécula.
- La naturaleza de los polímeros.
- Fuerzas cohesivas y adhesivas
- Acción capilar

#### *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.

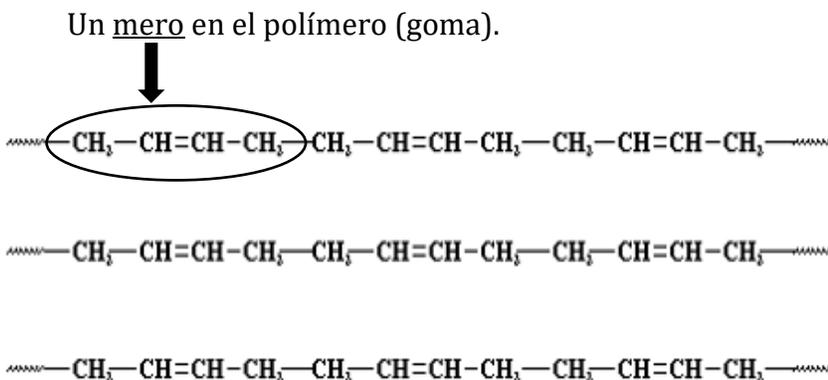
Algunos polímeros como la goma y la celulosa, ocurren en la naturaleza y pueden ser producidos por plantas u hongos. Los polímeros sintéticos son creados a través de la ingeniería combinando átomos de hidrógeno y carbono con un arreglo en cadena específico. La molécula de un polímero es una cadena larga 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

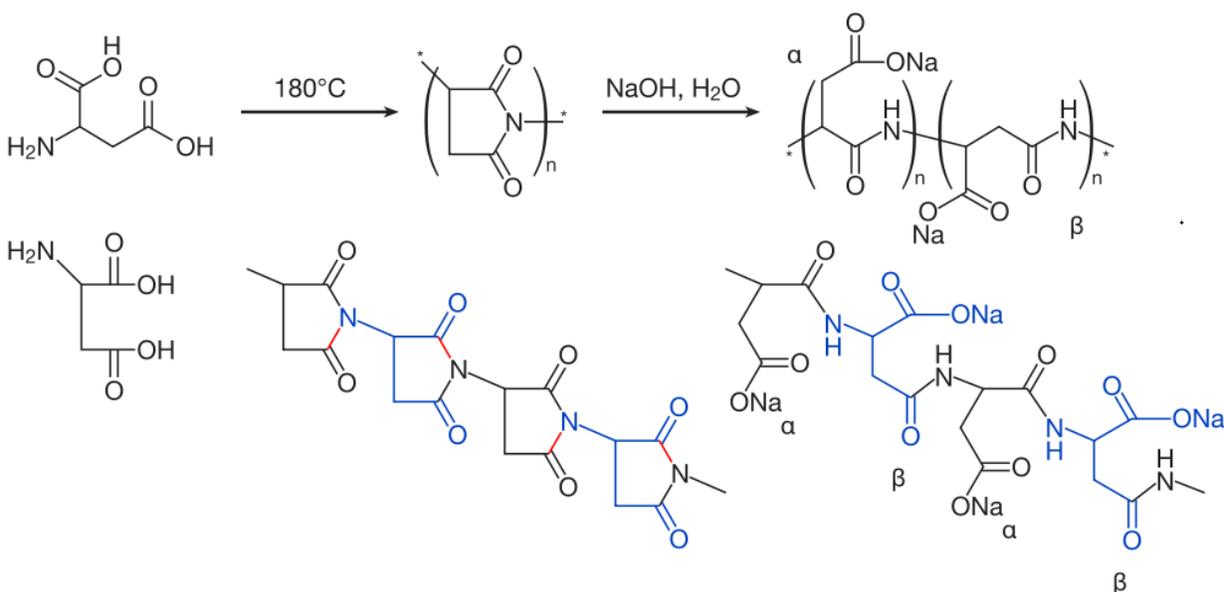
Un polímero está compuesto de muchas moléculas simples que son unidades estructurales repetitivas llamadas monómeros. Un polímero puede consistir de cientos hasta millones de monómeros que se pueden arreglar de forma lineal, ramificada o en red. Los enlaces covalentes mantienen unidos a los átomos en 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.

### Polímero de anillo

Así como una herramienta sopladora de burbujas puede capturar y sostener una capa fina de agua con jabón, se pueden crear cadenas de polímero a nanoescala (cadenas de átomos conectadas en un patrón repetitivo) para formar anillos muy pequeños. Debido a las fuerzas atractivas entre los átomos y las interacciones de las moléculas de agua, estas cadenas del polímero pueden capturar y contener una gran cantidad de agua. Este es el principio de funcionamiento detrás del material absorbente de humedad utilizado en pañales desechables. Entre el material exterior y el relleno del pañal, se colocan materiales compuestos de millones de estas cadenas de polímero. Estas cadenas de polímeros con sus millones de anillos pueden capturar y mantener una capa fina de agua y absorber una cantidad increíble de líquido. El polímero que se encuentra en los pañales tiene muchos nombres y cae dentro de la categoría general de polímeros súper absorbentes (SAPS).

Esta actividad utiliza un polímero que tiene una estructura de anillo y cuando se le añade agua al polímero se recogen capas finas de agua en la estructura del anillo. La capa fina de agua permanece "atrapada" en el anillo debido al equilibrio entre fuerzas cohesivas y adhesivas. Las fuerzas cohesivas son fuerzas entre moléculas similares y las fuerzas adhesivas son las fuerzas entre moléculas diferentes.

Los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua se clasifican como fuerzas de cohesión. Las fuerzas entre las moléculas de agua y los meros dentro de los anillos del polímero son fuerzas adhesivas. Un ejemplo de un polímero de anillo se muestra en la siguiente imagen.

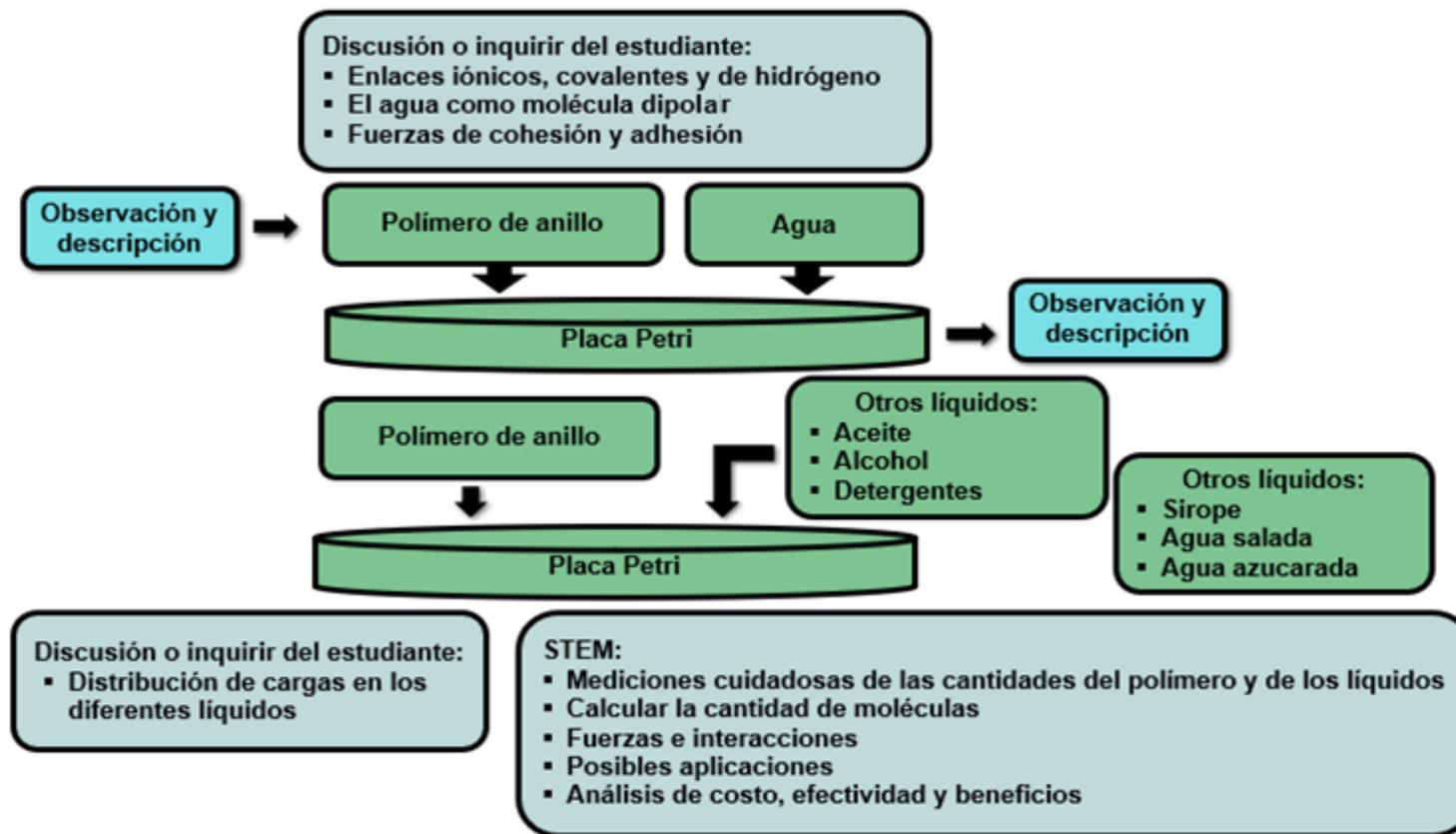


Ref.: [http://www.wikiwand.com/en/Sodium\\_polyaspartate](http://www.wikiwand.com/en/Sodium_polyaspartate)

Cuando se le añaden diferentes líquidos al polímero, los cambios físicos observados serán diferentes. Esto dependerá de cuan fuertes sean las fuerzas cohesivas y adhesivas. Las moléculas de cada líquido tendrán diferentes fuerzas en los enlaces cohesivos entre sus moléculas. La fuerza de esos enlaces cohesivos va a depender de la distribución de carga eléctrica en las moléculas de cada fluido.

## Actividad de aprendizaje: Polímero de anillo

### Flujograma de la actividad



### Video de la actividad

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

## Actividad de aprendizaje: Polímero de anillo

### 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.

Así como una herramienta sopladora de burbujas puede capturar y sostener una capa fina de agua con jabón, se pueden crear cadenas de polímero a nanoescala (cadenas de átomos conectadas en un patrón repetitivo) para formar anillos muy pequeños. Debido a las fuerzas atractivas entre los átomos y las interacciones de las moléculas de agua, estas cadenas del polímero pueden capturar y contener una gran cantidad de agua. Este es el principio de funcionamiento detrás del material absorbente de humedad utilizado en pañales desechables. Entre el material exterior y el relleno del pañal, se colocan materiales compuestos de millones de estas cadenas de polímero. Estas cadenas de polímeros con sus millones de anillos pueden capturar y mantener una capa fina de agua y absorber una cantidad increíble de líquido. El polímero que se encuentra en los pañales tiene muchos nombres y cae dentro de la categoría general de polímeros súper absorbentes (SAPS).

Esta actividad sencilla te permitirá observar y medir cuanta agua puede ser absorbida por este tipo de polímero de anillo.

### Materiales

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



### Procedimiento

1. Mide aproximadamente 1 centímetro cúbico (1/4 de cucharadita) del polímero de anillo.
  2. Coloca el polímero de anillo en una placa Petri y mide la masa.
  3. Utilizando la pipeta desechable, añade gotas de agua al polímero.
  4. Continúa añadiendo agua hasta que el material ya no pueda absorberla (esto se evidenciará por la presencia de agua líquida acumulada o desbordándose de la placa).
  5. Mide la masa nuevamente para determinar la cantidad de agua absorbida.
- **Nota:** Puedes determinar la cantidad de agua absorbida utilizando una probeta para medir el volumen del agua añadida. Sin embargo, esto podría ser menos exacto que medir la masa.

### Resultado

1. ¿Qué observaste?
  2. ¿Por qué piensas que esto ocurrió?
  3. ¿Cuál fue la diferencia en masa (agua absorbida)?
- Repite el proceso con diferentes líquidos y observa las diferencias. Estas diferencias se deben la fuerza que sea más fuerte o débil entre las fuerzas de cohesión y las de adhesión.

### Cálculos: (opcional)

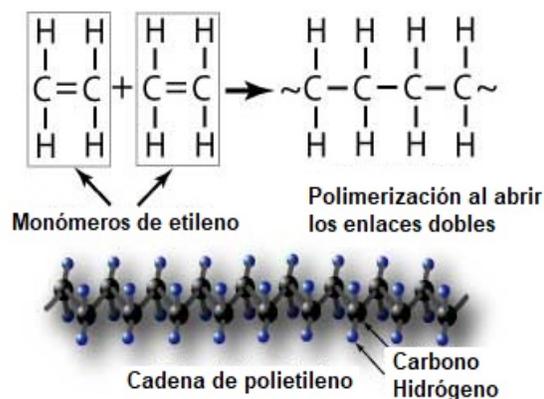
Si la densidad del agua es  $1\text{g/cm}^3$ , ¿cuál es el volumen de agua absorbida? Si asumimos que las capas finas de agua atrapadas en polímero de anillo tienen cada una 2 nm de grosor, ¿cuál es el área de superficie que podría ser cubierta por el agua recogida en los anillos?

## 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  $109^\circ$  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.



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.

Otra clase de polímeros son los polímeros de anillo. Estas moléculas son esencialmente polímeros lineales que han formado estructuras de curvas ("loops") largas y flexibles. Esta actividad se basa en una variante en forma de anillo del polímero lineal llamado poliacrilato.

## 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 polímero súper absorbente (SAP) típicamente utilizado en los pañales desechables?
6. ¿Qué se observa al verter agua líquida a una muestra de poliacrilato de sodio en anillo?
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. Hasta ahora, los polímeros de anillo son menos utilizados como material de ingeniería, pero se encuentran a menudo en las células de muchos organismos y forman un área activa de investigación.

La aplicación más común para el polímero de absorción de agua (poliacrilato de sodio) es en pañales desechables y otros productos de consumo que están diseñados para absorber líquidos. El poliacrilato de sodio también se usa en detergentes para remover (unirse con) elementos en el agua dura tales como el calcio y magnesio, como agentes espesantes en alimentos procesados y para revestimientos en productos de consumo e industriales.

Las aplicaciones futuras de poliacrilato de sodio sin duda se basarán en su capacidad para absorber grandes cantidades de agua. Por ejemplo, la NASA lo ha incorporado a "Maximum Absorbency Garment" (MAG), un pañal para adultos de alto rendimiento que usan los astronautas durante actividades extravehiculares o despegues y aterrizajes, cuando el uso de las instalaciones disponibles no es posible.

## Recursos multimedia

### Videos

- [http://www.youtube.com/watch?v=Vais8pL0w8U&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=Vais8pL0w8U&feature=player_embedded)

### Simulaciones

- [www.nanohub.org](http://www.nanohub.org)
- [mw.concord.org](http://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](http://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](http://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](http://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](http://www.kid-tech.org/projects/plastics_students.pdf).

## Reconocimientos

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