

# Cómo las innovaciones pegajosas cambiaron el mundo

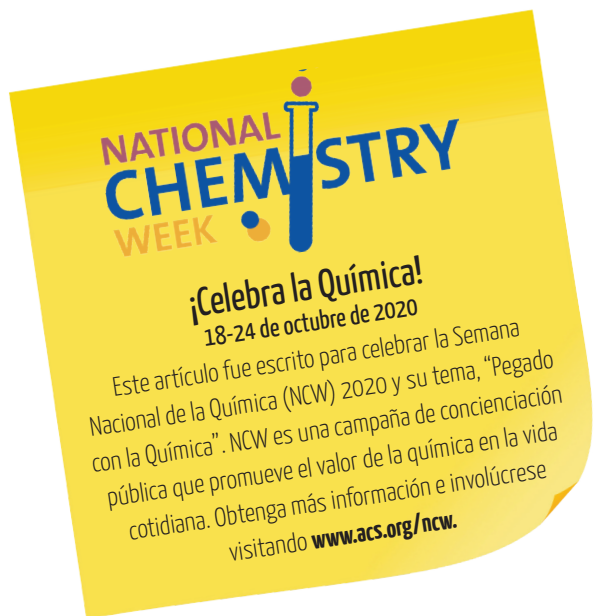
Por Carl E. Heltzel

**D**urante la Segunda Guerra Mundial, Vesta Stoudt, quien tenía dos hijos sirviendo en la Marina de los Estados Unidos, estaba trabajando en la Planta de Artillería del Río Verde, cerca de Amboy, Illinois.

Ella ayudó a empacar cajas de municiones. Esto implicó impermeabilizar las cajas sellándolas con cinta de papel y sumergiéndolas en cera. Se dejaba un extremo suelto de la cinta para que los soldados pudieran tirar de ella y despegar rápidamente toda la tira de cinta para abrir el paquete. Pero había un problema crítico con esta técnica. Logró impermeabilizar las cajas, pero las pestañas endebles de la cinta de papel a menudo se rasgaban, dejando las cajas selladas.

Bajo el fuego enemigo, los soldados habrían tenido poco tiempo para lidiar con una caja difícil de abrir. Ellos necesitaban abrir las cajas de municiones rápidamente. Entonces, Stoudt encontró una solución. Ella diseñó una cinta de tela impermeable que era más resistente que la cinta de papel que había estado usando el ejército. Ella propuso la idea a sus jefes, pero no mostraron mucho interés.

Sin inmutarse, Stoudt escribió una carta al entonces presidente Franklin D. Roosevelt el 10 de febrero de 1943. Roosevelt vio los méritos de su idea e instruyó a la Junta de Producción de Guerra para que hiciera un seguimiento. La Corporación de la Cinta



Industrial ganó el trabajo de producir la cinta en grandes cantidades. Por lo tanto, la cinta aislante—ahora conocida como cinta adhesiva—fue inventada.

La cinta adhesiva ahora se ha utilizado para arreglar una asombrosa variedad de objetos no solo en el ejército sino también para las reparaciones diarias. Incluso ha sido fundamental durante las misiones espaciales.

La historia de Stoudt ilustra muchas cosas, una de las cuales es que la necesidad es la madre de la invención. También destaca la importancia de los inventos pasados por alto, que se han vuelto tan comunes que olvidamos que necesitaban ser inventados en primer lugar. Los adhesivos, de los cuales la cinta adhesiva es solo un tipo, entran en esta categoría. No solo han ayudado a resolver problemas críticos a corto plazo, como el empaque de municiones, sino que también han jugado un papel crucial en la evolución de la cultura humana—y las innovaciones pegajosas seguramente nos ayudarán a abordar problemas que hoy parecen irresolubles.

## El pegamento caliente original

Mucho antes de que comenzáramos a usar cintas sintéticas para empaquetar y reparar libros rotos, las ventajas de la pegajosidad debían ser reconocidas y aprovechadas. La evidencia arqueológica sugiere que el pegamento se remonta a los primeros días de los humanos y los neandertales. Desde hace 200,000 años durante el Período Paleolítico, es probable que el pegamento se hiciera calentando la corteza de abedul para hacer un alquitrán pegajoso. El alquitrán es un **polímero** natural—es decir, está formado por un gran número de moléculas similares (**monómeros**) unidas en largas cadenas. También es



**termoplástico**, lo que significa que se ablanda cuando se calienta y se solidifica cuando se enfría. A temperatura ambiente, el alquitrán es sólido, pero caliéntelo a 29 °C

(85 °F), y puede moldearlo como masilla. Cuando se enfría, el alquitrán se endurece y puede mantener dos cosas juntas. También se puede calentar nuevamente para su reutilización.

Los arqueólogos han encontrado evidencia de que el alquitrán se utilizó para unir hojas de piedra a mangos de madera—lo que representó un avance en la fabricación de herramientas para los primeros humanos.

Otro avance importante en la historia de los adhesivos fue el uso de la piedra caliza de origen natural (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ), que a menudo se compone de restos óseos de organismos marinos. Cuando se calienta, se agrega al agua y se mezcla con arena, la piedra caliza produce mortero de cal. Cuando el mortero de cal reacciona con el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el aire, se endurece y se convierte en piedra caliza, uniendo los materiales con los que está en contacto. El mortero de cal se usó para unir piedras en estructuras antiguas, incluyendo las pirámides egipcias y la Gran Muralla China.

Los aditivos, específicamente materiales orgánicos, similares a las proteínas, como la sangre de buey, a veces se mezclaban con el mortero de cal para mejorar su rendimiento.

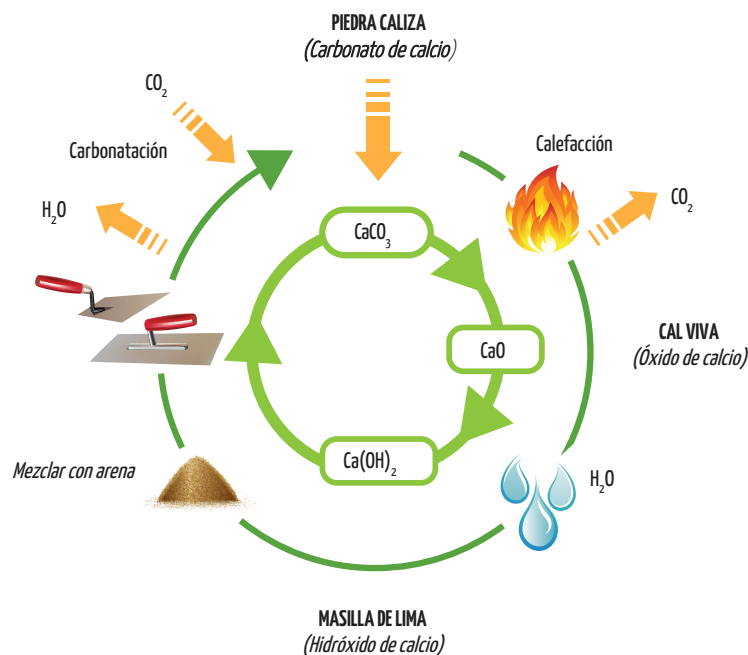
Los primeros adhesivos basados en materiales animales o vegetales eran fuertes, y muchos ejemplos de estructuras construidas con estos pegamentos naturales todavía se conservan en la actualidad. Pero, en última instancia, los avances en la tecnología, la medicina y la cultura crearon oportunidades para inventar adhesivos modernos más versátiles, como cintas quirúrgicas, eléctricas y para envolver regalos.

### Pegajosidad sintética

Hoy en día, los fabricantes no tienen que calentar abedul o recolectar sangre de buey para hacer pegamento o adhesivo en las cintas. En cambio, procesan materiales pegajosos en plantas de fabricación.

Los polímeros a base de acrilato se utilizan comúnmente para fabricar materiales pegajosos. Al igual que todos los polímeros, los polímeros de acrilato son moléculas grandes que constan de muchas unidades idénticas que se repiten. La producción de polímeros utiliza algo llamado **reacción de polimerización**—es decir, un gran número de moléculas idénticas, llamadas monómeros, reaccionan para formar una única molécula grande, el polímero. El poli (acrilato de n-butilo) es un polímero de acrilato típico utilizado en adhesivos. Se elabora polimerizando el monómero acrilato de n-butilo.

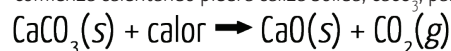
### EL CICLO DE LA CAL



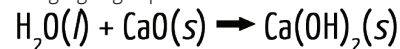
### Pegado con la piedra caliza

La piedra caliza ha jugado un papel clave en la construcción de algunas de las estructuras más emblemáticas del mundo. El proceso de elaboración es un ciclo de las siguientes reacciones:

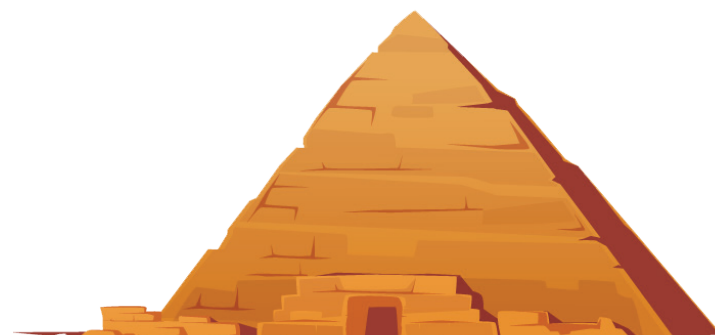
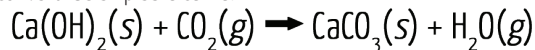
» Comienza calentando piedra caliza sólida,  $\text{CaCO}_3$ , para formar óxido de calcio,  $\text{CaO}$ .

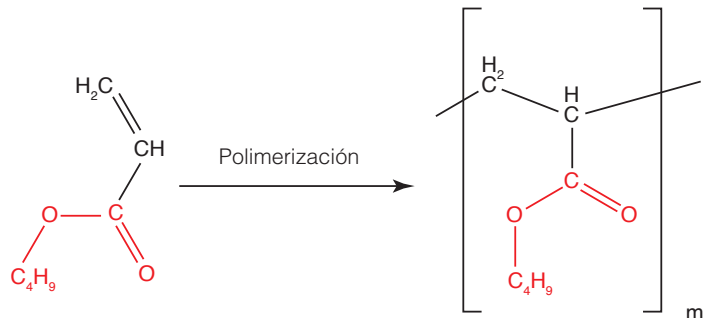


» Se agrega agua para formar una masilla de cal o hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ .



» Con el tiempo, el hidróxido de calcio reacciona con el  $\text{CO}_2$  del aire para endurecerse y convertirse en piedra caliza.

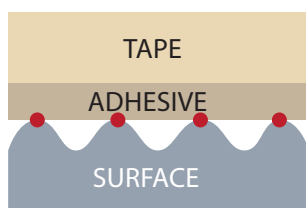




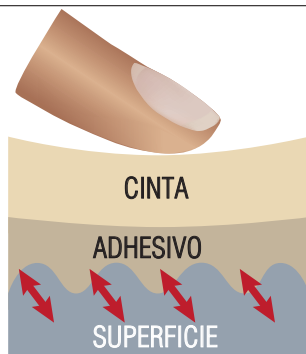
Monómero: acrilato de n-butilo

Polímero: acrilato de poli n-butilo

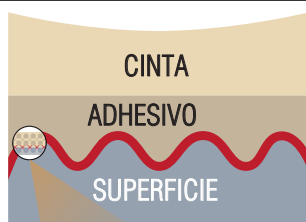
## CÓMO FUNCIONA LA CINTA



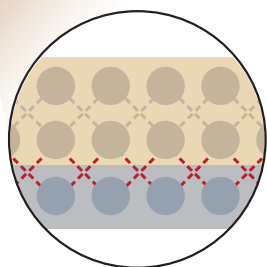
El contacto entre la cinta y un objeto, como una pared, produce **fuerzas intermoleculares**.



Presionar la cinta causa que el adhesivo comience a pegarse en la superficie rugosa del objeto, creando más **fuerzas intermoleculares**.



Las fuerzas intermoleculares se extienden sobre un área aún más amplia.



--- Las fuerzas cohesivas evitan que la capa pegajosa se deshaga.

--- Las fuerzas adhesivas entre un pedazo de cinta y un objeto mantienen unidas las dos piezas.

Estos polímeros suelen ser el componente pegajoso de la cinta. El principio de funcionamiento de las cintas parece sencillo: Muchas cintas que podrías usar, como la cinta Scotch transparente, consisten de un material de respaldo que está recubierto en al menos un lado con una capa de adhesivo sensible a la presión. Es sensible a la presión porque tienes que aplicar una fuerza ligera para que se adhiera de manera efectiva.

Detrás de este mecanismo aparentemente simple, hay mucha ciencia involucrada. Amplíe el nivel molecular y encontrará que la pegajosidad de la cinta depende del equilibrio entre **las fuerzas adhesivas y cohesivas**.

Las fuerzas adhesivas son atracciones entre moléculas en diferentes sustancias. Las **fuerzas cohesivas** son atracciones entre moléculas en la misma sustancia. Para entender mejor estas dos fuerzas, considere una gota de lluvia en el parabrisas de un automóvil. Las fuerzas adhesivas entre las moléculas de agua y el vidrio mantienen el agua en su lugar. Las fuerzas cohesivas se producen entre las moléculas de agua y las mantienen juntas en una gota. Sin fuerzas cohesivas, las moléculas de agua se esparcirían sobre el vidrio.

Así es como funcionan estas fuerzas en cinta. En muchas cintas, las fuerzas adhesivas involucran **fuerzas de van der Waals**. Las fuerzas de Van der Waals son interacciones atractivas a nivel atómico y molecular, pero son mucho más débiles que los enlaces covalentes e iónicos. Para que la cinta se adhiera a una superficie, las fuerzas de van der Waals deben establecerse entre las moléculas en un pedazo de cinta y las moléculas o átomos en la superficie. Debido a que las fuerzas de van der Waals dependen de la distancia y se desvanecen a medida que aumenta la distancia entre las moléculas, la aplicación de una fuerza ligera sobre un pedazo de cinta con el dedo empuja el adhesivo y las moléculas de superficie lo suficientemente cerca para establecer las fuerzas de van der Waals y hacer que la cinta se pegue.

Imagínelo de esta manera: Supongamos que está pegando un póster en la pared de su dormitorio. Se presiona la cinta para que parte de ella se adhiera al cartel y el resto se adhiera a la pared. La cinta entra en los hoyos microscópicos de la pared. Las fuerzas adhesivas entre la cinta y la pared mantienen el cartel en su lugar.

Las fuerzas cohesivas entre las moléculas dentro de la capa adhesiva de la cinta también son importantes. Si las fuerzas cohesivas son demasiado débiles, las moléculas dentro de la capa adhesiva se "soltarían" entre sí, y el cartel caería al suelo.

## De vuelta a la naturaleza

La química pegajosa está bastante bien establecida. Pero todavía hay cosas que la mayoría de los adhesivos sintéticos no pueden hacer. Por ejemplo, los adhesivos sintéticos no son muy buenos para hacer que las cosas se peguen bajo el agua. Para avanzar aún más en la química pegajosa, los científicos vuelven a buscar inspiración en

la naturaleza. Los organismos vivos a menudo segregan adhesivos para su fijación, construcción, defensa y depredación. Ellos tienen el beneficio de millones de años de experiencia evolutiva en el desarrollo de sus “productos”. Las especies como los mejillones y los percebes hacen esto fácilmente—incluso en condiciones difíciles.

Sin embargo, a diferencia de los adhesivos de los primeros humanos, es probable que las nuevas soluciones no impliquen el uso de productos animales y vegetales, pero los imitarán. Por ejemplo, investigadores de la Universidad de Purdue crearon un polímero sintético **biomimético** (copia de la naturaleza) después de examinar los adhesivos a base de proteínas de los mejillones. Los mejillones usan pequeñas fibras similares a pelos cubiertas con un adhesivo para adherirse a las superficies. El pegamento del mejillón contiene el aminoácido dihidroxifenilalanina (DOPA), que le da una fuerza adhesiva única. DOPA contiene un grupo funcional reactivo conocido como catecol, que consta de dos grupos hidroxilo que sobresalen de un anillo de benceno. El grupo catecol interactúa con superficies, como rocas, a través de fuerzas intermoleculares que incluyen enlaces de hidrógeno. Al combinar la química de las proteínas del mejillón y DOPA en un nuevo polímero, los investigadores de Purdue crearon un fuerte adhesivo submarino.

El limo de babosas y los pies de geco también han inspirado el desarrollo de productos experimentales pegajosos. Los investigadores dicen que algún día estos adhesivos biomiméticos podrían ayudar a los cirujanos a reparar órganos o ayudar a los astronautas a caminar en el exterior de una nave espacial.

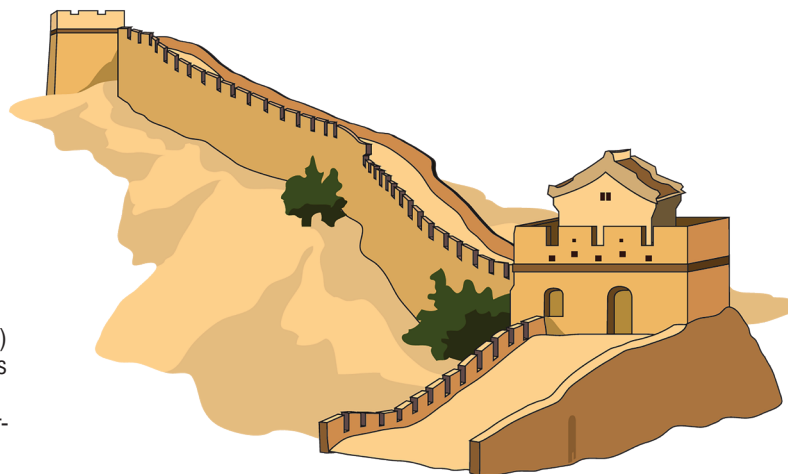
¿Qué increíbles aplicaciones de adhesivo puedes imaginar?

**Carl E. Heltzel**, ex editor de *ChemMatters*, es un escritor de Ciencias que vive en el condado de Oconee, Carolina del Sur.

#### REFERENCIAS

- Kingsley, G. R. Masonry. Enciclopedia de Ciencias Físicas y Tecnología, 3ra Ed.; Meyers, R. A., Ed.; Prensa académica: Cambridge, 2003; págs. 133–143: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00405-1> [consultado en agosto de 2020].
- Kozowyk, P. R. B. et al. Una nueva metodología experimental para evaluar las propiedades de los adhesivos muestra que los neandertales utilizaron el material más adecuado disponible. *Journal of Human Evolution*, diciembre de 2019: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2019.102664> [consultado agosto de 2020].
- Steven, E. Conoce a la mujer decidida que inventó la cinta adhesiva. Johnson & Johnson, 8 de febrero de 2018: <https://www.jnj.com/our-heritage/vesta-stoudt-the-woman-who-invent-duct-tape> [consultado en agosto de 2020].

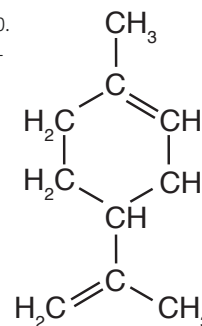
Gracias a **Elayne Thomas** y **Hares Wahdat**, investigadores postdoctorales de la Universidad de Massachusetts, Amherst, por su ayuda con este artículo.



## Deshacerse de los adhesivos no deseados

Quitar las etiquetas de precio de los libros, tazas y carpetas recién comprados a menudo deja un residuo pegajoso. Raspar el adhesivo pegajoso con una uña no siempre funciona, pero hay otra forma de eliminar la pegajosidad.

¿Recuerda la regla de oro: “Lo similar disuelve a lo similar”? Es decir, las sustancias polares se disuelven en medios polares y las sustancias no polares se disuelven en medios no polares. El residuo de las etiquetas de precios y los sellos generalmente está hecho de moléculas poliméricas no polares. Por lo tanto, los productos no polares disolverán el residuo no polar, lo que le permitirá eliminarlo de su nueva compra. Por ejemplo, el limoneno, un compuesto natural de las naranjas, es una molécula orgánica apolar que se utiliza a menudo en productos de limpieza.



Limoneno, C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>

### Remedio para remover el adhesivo

#### Ingredientes:

- » **1 parte de bicarbonato de sodio** (bicarbonato de sodio, NaHCO<sub>3</sub>, como agente abrasivo; también ayuda a hacer una pasta no líquida)
- » **1 parte de aceite de coco derretido** (rico en ácidos grasos no polares de tamaño mediano; excelente para disolver una sustancia pegajosa no polar)
- » **aceite de naranja dulce** (u otros aceites esenciales cítricos)

Combine los ingredientes, agregando suficiente bicarbonato de sodio a los aceites de coco y naranja para hacer una pasta. Aplique la pasta. ¡Espere una hora o dos y pele o frote el adhesivo!