

# BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

## Plan de Estudios: Elasticidad

---

### Introducción

Muchos materiales y sustancias vuelven a su forma y tamaño original después de ser estirados o deformados. Esta propiedad se denomina **elasticidad**. Muchas sustancias en el cuerpo humano tienen esta propiedad – por ejemplo, el cabello – asimismo muchos de los materiales fabricados por el hombre. Elasticidad es lo que hace que nuestra piel se estire cuando la pellizcamos, volviendo después a su forma original, y también es la razón por la cual una pelota de plástico rebota. Componentes de las células, como el huso mitótico formado durante la división celular, también presenta propiedades elásticas, y por tanto puede recuperan su forma original tras ser deformado.

La habilidad de un material o sustancia para cambiar su longitud de forma reversible, como si fuera un muelle (resorte), es una propiedad que puede cuantificarse experimentalmente. Esta propiedad se denomina módulo elástico, o **módulo de Young**. En esta lección se demostrará la elasticidad de varios materiales biológicos y de materiales creados por el hombre. Los estudiantes medirán los cambios en la longitud de estos materiales inducidos por una fuerza externa, en condiciones normales y en condiciones que alteran sus propiedades elásticas.

### Objetivos & Nivel

Demostrar la elasticidad de varios materiales biológicos y de materiales creados por el hombre, y medir cambios en su longitud como resultado de la aplicación de distintas fuerzas. Determinar el efecto de la temperatura y del agua (hidratación) en los cambios de longitud. Los estudiantes más avanzados podrán calcular el módulo de Young de distintos materiales. La lección es apropiada para clases de ciencias en escuelas secundarias y preparatorias; estudiantes avanzados pueden consultar las Notas al pie.

### Materiales

- Un cabello (de longitud ~15-25 cm o ~6-10 pulgadas)  
*Arranque uno de sus propios cabellos o solicite uno a uno de sus compañeros(as) de clase. Si se lo solicita a un compañero(a), asegúrese de pedir permiso y déje que sea él (ella) quien le dé su cabello – no lo arranque usted mismo*
- Un hilo de seda (de longitud ~15-25 cm o ~6-10 pulgadas)
- Una banda elástica de goma
- Otros materiales (como cuerda, sogá, cordón o alambre) también pueden ser utilizados
- Regla
- Barra o varilla de la que se colgarán cada uno de los materiales
- Pesos de distintas masas (~100 g, ~200 g, ~300 g, ~400 g)  
*Los pesos pueden fabricarse con frascos o botellas pequeñas llenos de agua o clavos; asegúrese de medir la masa de cada peso antes de utilizarlos*
- Ganchos o enganches para colgar distintos pesos  
*También sujetapapeles pueden ser utilizados*

## Procedimiento

1. Tome el cabello, el hilo de seda y la banda de goma, y examine sus propiedades elásticas. La elasticidad de un material es limitada; a partir de cierto punto, si se estira con mayor fuerza el material no puede volver a su forma original. Este punto se denomina **límite elástico**. Si el material se estira con mayor fuerza, el material se acaba por romper – éste es el **punto de ruptura**. Trate de estirar cada uno de los tres materiales, tirando de los extremos suavemente. ¡No tire demasiado fuerte, o los materiales no volverán a su forma original, o se romperán!

*¿Cuál de los tres materiales parece ser el más elástico? ¿Cuál parece ser el menos elástico?*

2. Ahora sumerja el cabello y el hilo de seda en un vaso con agua durante 5-10 minutos, y coloque la banda de goma en el congelador durante 5-10 minutos. A continuación, trate de estirar otra vez cada uno de los tres materiales.

*¿Son el cabello y el hilo de seda húmedos elásticos? ¿Es más difícil o más fácil estirarlos que cuando estaban secos? ¿Y la banda de goma? ¿Es más difícil o más fácil estirar la banda fría que cuando se encontraba a temperatura ambiente?*

*¿Cuál crees que es el efecto de la hidratación en la elasticidad del cabello y la seda? ¿Cuál es el efecto de la temperatura en la elasticidad de la banda de goma?*

3. La elasticidad de un material puede cuantificarse si se lleva a cabo un experimento en el que se mide cuánto se estira el material cuando se cuelgan de él pesos de diferente masa. El objetivo de este experimento es estudiar cada material antes de alcanzar el límite elástico – conocido como rango de elasticidad lineal.

*¡No cuelgue un peso demasiado grande – se podría alcanzar el límite elástico del material, o incluso su punto de ruptura!*

4. Haga un lazo con el cabello, cuélguelo a la barra o varilla y mida su longitud con la regla. Tome nota de la medida. Mida la longitud del hilo de seda y la banda elástica de la misma manera. ¡No olvide registrar las medidas!

*Para hacer un lazo con el cabello o el hilo de seda, ate los dos extremos con un nudo, o pegue los extremos con cinta adhesiva. Cuelgue el lazo a la varilla, como se muestra en la Figura 1 para la banda elástica. Asegúrese de que los dos tramos de cabello o hilo, antes y después del nudo o la cinta adhesiva son de igual longitud. Mida la longitud del lazo, desde un extremo (la varilla) hasta el otro extremo (nudo/cinta). La banda elástica se puede colgar y medir de la misma manera.*

5. Cuelgue el peso de masa ~100 g al extremo inferior del cabello, como se muestra en la **Figura 1** para la banda elástica. Asegúrese de que el peso es capaz de estirar el cabello sin interferencia, y sin que sea necesario que usted tire del peso al mismo tiempo. Mida la longitud del lazo de la misma forma anteriormente descrita y escriba la medida y la masa del peso utilizado.

*¿Incrementó el peso la longitud del cabello? ¿Cuál fue el incremento? Si la longitud del cabello no cambió, repita el procedimiento con un peso de masa mayor.*

6. Cambie el peso a uno de masa ~200 g, y repita el experimento. A continuación, repita la medida con pesos de masa ~300 g and ~400 g.

*Asegúrese de anotar la masa del peso utilizado en cada experimento, y las longitudes medidas en cada caso.*

7. Repita el experimento, ahora en condiciones que alteran la elasticidad de los materiales. Sumerja el cabello y el hilo de seda en un vaso con agua durante 5-10 minutos, y mida su longitud siguiendo el procedimiento previamente descrito para cada uno de los pesos.

*¡No permita que el cabello o el hilo se sequen durante el experimento! Suméjalos en el agua durante unos minutos entre medidas, si es necesario.*

*¿Son las longitudes del cabello o el hilo mojado (con los distintos pesos) las mismas que cuando estaban secos? Si las longitudes son diferentes ¿son el cabello o el hilo mojado más largos o más cortos?*

8. Coloque la banda elástica en el congelador durante 5-10 minutos. A continuación repita el experimento con cada uno de los pesos, y anote las medidas.

*¡No permita que la banda elástica se vuelva a calentar durante el experimento! Para mantenerla fría entre medidas, colóquela de nuevo en el congelador o en hielo durante unos minutos.*

*¿Son las medidas de la longitud de la banda elástica fría (con los distintos pesos) las mismas que en el experimento anterior? ¿Son las medidas de longitud mayores o menores que cuando la banda se mantuvo a temperatura ambiente?*

9. Estudiantes avanzados pueden calcular el módulo de Young de cada uno de los materiales en diferentes condiciones, de la siguiente forma:

a) Primero, calcule la fuerza gravitacional aplicada a cada material,  $F$ , asociada con cada uno de los pesos utilizados en el experimento. Para ello utilice la masa de cada peso, y la segunda Ley de Newton:

$$F = ma$$

donde

- $F$  es la fuerza gravitacional aplicada al material
- $m$  es la masa de cada peso utilizado
- $a$  es la aceleración debida a la gravedad =  $9.81 \text{ m/s}^2$

Expresé el resultado en unidades de Newton ( $N$ ), o  $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$ . Por ejemplo, para un peso de masa 100 g:

$$F = ma$$

$$\begin{aligned} F &= 100\text{g} \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{g}} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ &= 0.981 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2} \text{ o } N \end{aligned}$$

b) Ahora determine el área de la sección transversal,  $A$ , de cada uno de los materiales utilizados en el experimento. Para hacer esto, mida el diámetro del cabello, el hilo y la banda elástica tan preciso como sea posible, en unidades de  $\text{mm}$ .

# BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

Divida el resultado entre 2 para calcular el radio, y use la ecuación del área del círculo ( $A=\pi r^2$ ) para calcular el área de la sección transversal. Si la banda elástica tiene una sección transversal rectangular (como en la Figura 1), el área del rectángulo, ( $A=w*h$ ) se puede calcular midiendo el grosor de la banda,  $w$ , y su ancho,  $h$ . Anote el área de la sección transversal en cada caso, en unidades de  $mm^2$ .

*El diámetro del cabello humano varía entre ~0.02 y 0.18 mm. Si tienes dificultades midiendo el diámetro del cabello utilizado en el experimento, use el valor medio de 0.08 mm. El diámetro típico del hilo de seda también varía, entre ~0.01 y 0.025 mm. Use el valor medio de 0.02 mm si el hilo utilizado en el experimento es demasiado fino y difícil de medir. La banda elástica en la Figura 1 tiene un grosor de 1 mm y un ancho de 5 mm – el área de la sección transversal rectangular es por lo tanto 5  $mm^2$ .*

c) Ahora calcule  $F/A$  dividiendo la fuerza gravitacional asociada con cada uno de los pesos por el área de sección transversal de cada uno de los materiales. Como los pesos cuelgan de dos tramos de banda elástica, el área de la sección transversal total es el doble del valor de cada uno de los dos tramos. Para la banda en Figura 1, por ejemplo, el valor total es  $2 \times 5 \text{ mm}^2$ , o  $10 \text{ mm}^2$ . Si hizo un lazo con el cabello y el hilo de seda para fijarlos a la varilla, y los pesos se colgaron del otro extremo, el área de la sección transversal también tiene que multiplicarse por 2 para calcular el área total. El resultado de la división  $F/A$  tiene unidades de  $N/mm^2$ , que también se denominan *mili-Pascal (mPa)*.

d) Para cada uno de los pesos y materiales, calcule el valor de  $\Delta L/L_0$

donde

- $L_0$  es la longitud inicial del material, sin peso
- $\Delta L = L - L_0$  es el incremento en la longitud de cada material debido al peso aplicado (reste la longitud inicial del material sin peso,  $L_0$ , a la longitud medida cuando el peso está colgando,  $L$ )

e) Para cada uno de los materiales cree una tabla como la que se ilustra abajo – asegúrese de substituir los valores aproximados de las masas de los pesos por los valores exactos utilizados en el experimento:

Material: Cabello	Masa del peso	$F$	$F/A$	$L$ (con peso)	$\Delta L (=L-L_0)$	$\Delta L/L_0$
$A=$	0					
$L_0=$	~100 g					
	~200 g					
	~300 g					
	~400 g					

f) Para cada uno de materiales, grafique los valores de  $F/A$  contra los de  $\Delta L/L_0$ , como el que se muestra en **Figura 2**. La cantidad  $F/A$  se denomina **esfuerzo**, mientras que la cantidad  $\Delta L/L_0$  se denomina **deformación** (ver **Nota 3** a continuación). El módulo de Young,  $E$ , se define como:

$$E = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

donde

- $F$  es la fuerza aplicada
- $A$  es el área de la sección transversal
- $\Delta L$  es el incremento en longitud debido a la fuerza aplicada
- $L_0$  es la longitud inicial del material (sin fuerza aplicada)

Por tanto, el valor de  $E$  es igual a la pendiente de la recta que mejor se ajusta a los primeros puntos en el gráfico, que corresponden al régimen lineal de elasticidad.

g) Deduzca la pendiente de cada uno de los gráficos estimando el incremento en  $y$  asociado con el incremento en  $x$ ,  $y$  dividiendo el uno por el otro, o  $\Delta y/\Delta x$ .

*¿Se parecen los valores del módulo de Young medidos en el experimento a los valores tabulados en la Nota 2?*

*El módulo de Young de materiales muy elásticos es menor que el de materiales menos elásticos. ¿Son el cabello o el hilo de seda mojados más o menos elásticos que el cabello o el hilo de seda secos? ¿Es la banda de goma más o menos elástica cuando la banda está fría o cuando está a temperatura ambiente?*

## Notas

1. El cabello y la seda son materiales biológicos con propiedades elásticas. El cabello es un polímero largo formado por una proteína llamada queratina. La seda es creada por gusanos utilizando una proteína llamada fibroína. Tanto el cabello como la seda tienen una gran resistencia tensil – pueden ser estirados con gran fuerza sin romperse. La elasticidad del cabello varía de persona a persona, mientras que la elasticidad de la seda depende de la manera en la cual se transforma en hilos.

Las bandas elásticas son fabricadas por el hombre, pero la mayoría son hechas de una sustancia natural llamada caucho (o goma), que es un fluido lechoso producido por algunos árboles. Los objetos hechos de goma tienen una gran elasticidad.

2. Condiciones ambientales pueden cambiar la elasticidad de un material. Por ejemplo, el cabello mojado es más elástico que el cabello seco – y por tanto el módulo de Young del cabello mojado es menor que el del cabello seco. Al peinar tu pelo, no parece más largo cuando está mojado? Es porque en realidad es más largo! Materiales hechos de goma son atípicos porque son más elásticos a bajas temperaturas (hasta un cierto punto) que a temperaturas cálidas. Esto se refleja en que el módulo de Young de estos materiales es menor a temperaturas bajas.

La tabla siguiente muestra valores aproximados del módulo de Young, para los tres materiales utilizados en el experimento, bajo distintas condiciones; por ejemplo, para el cabello, se dan valores en dos condiciones de humedad relativa (HR).

# BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

	Módulo de Young (valores aproximados)	Cambio en módulo de Young
Cabello	5,394 MPa (65% HR)	Decrece con hidratación e.g., 2,059 MPa (100% HR)
Seda	8,900 MPa	Decrece con hidratación
Goma	0.05 MPa - 2 MPa	Decrece con temperatura

3. **Tópico avanzado 1:** El módulo de Young depende de dos cantidades, esfuerzo y deformación. **Esfuerzo** es una medida de la fuerza necesaria para causar un cambio en el material, y es igual a  $F/A$ . **Deformación** es la medida del cambio de longitud en el material como resultado de esa fuerza, y se define como  $\Delta L/L_0$ . El módulo de Young es el cociente del esfuerzo y la deformación, y puede deducirse gráficamente; en particular, el módulo de Young es igual a la pendiente de la función que describe el esfuerzo contra la deformación, en el régimen lineal inicial (ver paso 9).

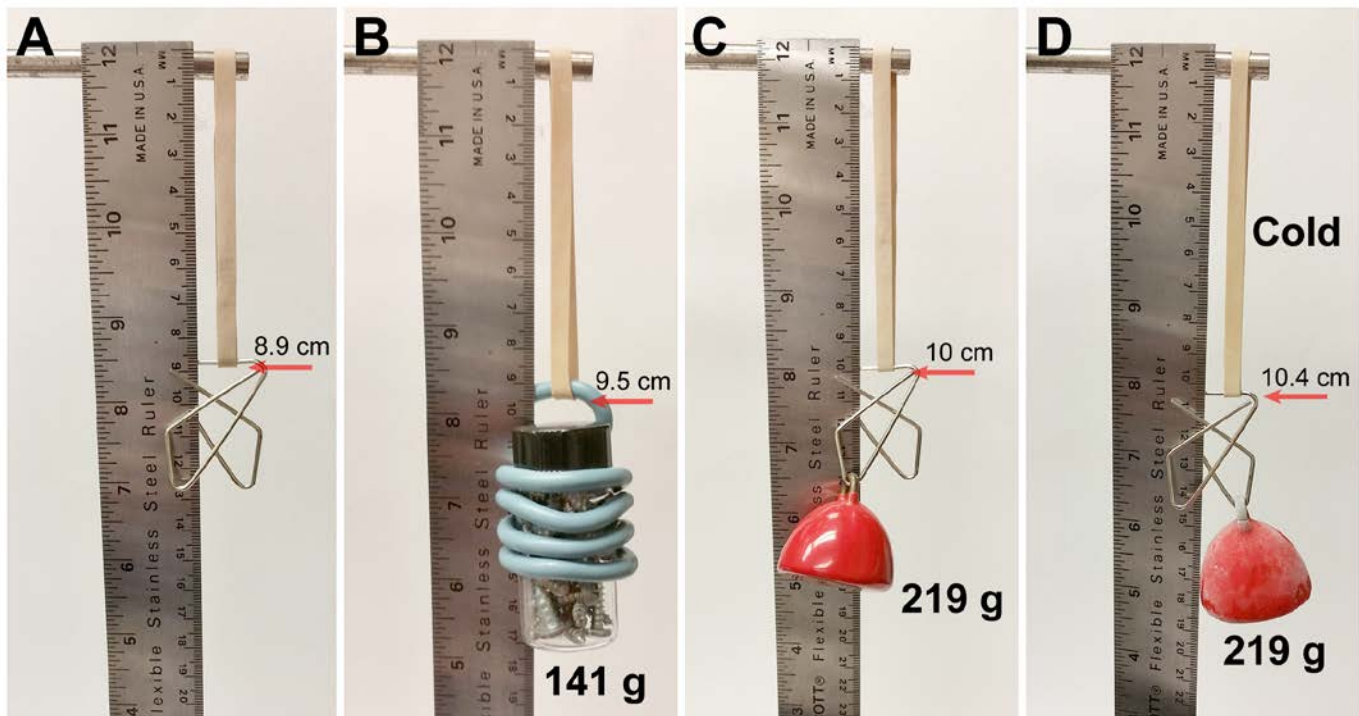
4. **Tópico avanzado 2:** El módulo de Young de muchos materiales depende de la dirección en cual la fuerza se aplica al material. Por ejemplo, la madera varía en elasticidad dependiendo si las fuerzas se aplican a lo largo de las vetas de la madera o en otras direcciones.

5. **Tópico avanzado 3:** La **Ley de Hooke** establece que la fuerza que actúa en un muelle (resorte) como resultado de haberlo comprimido o extendido una cierta longitud es proporcional al valor de esa longitud. La Ley de Hooke se expresa como  $F=-kx$ , donde  $F$  es la fuerza,  $k$  es la constante de fuerza del muelle (resorte), y  $x$  es el cambio de longitud. Esta ley asume que el muelle responde de forma elástica y lineal. Inicialmente la respuesta de un material elástico a una fuerza aplicada también es consistente con la Ley de Hooke, y por tanto el material se comporta como si fuera un muelle.

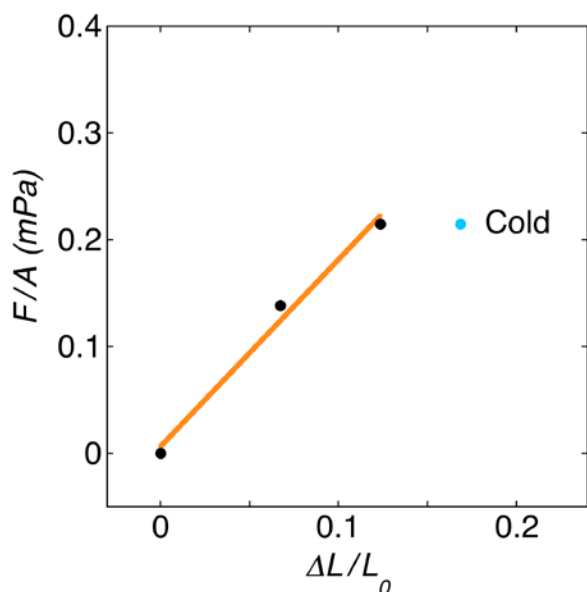


## Figuras

Figura 1 Medida de la elasticidad de una banda de goma



**A)** La longitud original de la banda elástica es 8.9 cm. La fuerza gravitacional debida al sujetapapeles ( $0.0343 N = 3.5 g \times 9.81 m/s^2 \times 10^{-3} kg/g$ ) es demasiado pequeña para aumentar la longitud la banda. **B)** Un peso de masa 141 g (una pequeña botella llena de tornillos, sujeta con un cable flexible) incrementa la longitud de la banda hasta 9.5 cm. **C)** Un peso de mayor masa causa un mayor incremento en longitud, hasta 10 cm. **D)** Con el mismo peso que en C, la misma banda enfriada aumenta su longitud hasta 10.4 cm.



**Figura 2** Cálculo del módulo de Young a partir del gráfico del esfuerzo contra la deformación

En este gráfico del esfuerzo ( $F/A$ ) contra la deformación ( $\Delta L/L_0$ ), obtenido para la banda elástica mostrada en la Figura 1, el módulo de Young es la pendiente de la recta (línea naranja) que mejor se ajusta a las tres medidas (puntos negros); el valor resultante es  $E=1.75 \text{ mPa}$ . Valores mayores del esfuerzo y de la deformación probablemente dejan de obedecer este régimen lineal. El punto azul refleja la medida realizada después de enfriar la banda elástica ("Cold"). El módulo de Young en este caso es  $E=1.27 \text{ mPa}$ . La mayor longitud de la banda (ver **Figure 1**) y el menor valor de  $E$  reflejan que la elasticidad de la banda incrementa a medida que la temperatura disminuye.

## Autores

Sharyn A Endow  
Adam P Russell

Duke University Medical Center  
Durham, NC  
122115

Traducido por José D Faraldo-Gómez, NIH/NHLBI, con contribuciones de Deyny Medivelso-Perez, Iowa State University.

Copyright © 2015 by Biophysical Society. All rights reserved.