Título	Crujiente, blando, elástico: la física de la textura de los alimentos
Concepto físico	Propiedades mecánicas de sólidos. Módulo de Young. Fractura. Viscoelasticidad.
Enlaces	Link 1 (Reología y texturometría) Link 2 (Textura de los alimentos)

Explicación teórica

En física de materiales se estudia cómo se comportan los sólidos cuando se les aplica una fuerza. Algunos materiales son rígidos y apenas se deforman; otros son blandos y cambian de forma fácilmente. Lo mismo ocurre con los alimentos.

Una corteza de pan seca, una patata frita o una galleta crujiente son estructuras bastante rígidas ya que resisten la deformación hasta que, de repente, se rompen. En cambio, la miga de pan, una gominola o un queso fresco se deforman mucho más antes de romperse, si es que llegan a hacerlo.

Muchos alimentos no son completamente sólidos rígidos ni completamente blandos. Tienen un comportamiento intermedio, son viscoelásticos. Esto significa que combinan una parte elástica, como un muelle que recupera su forma, y una parte viscosa, como una masa que se deforma lentamente. Por eso algunos alimentos recuperan parcialmente su forma al presionarlos, mientras que otros quedan aplastados.

El crujido: pequeñas fracturas en cadena

Un alimento cruje cuando se rompe de forma rápida y brusca. El sonido que oímos al morder una galleta, una patata frita o una corteza de pan procede de muchas pequeñas fracturas que se producen casi al mismo tiempo.

Para que un alimento sea crujiente normalmente tienen que darse dos condiciones. Primero, debe ser suficientemente rígido para acumular energía antes de romperse. Segundo, debe ser frágil, es decir, debe romperse de golpe en lugar de deformarse lentamente.

La estructura interna también es clave. Muchos alimentos crujientes son porosos: están formados por paredes finas que rodean pequeños huecos de aire. Al morderlos, esas paredes se rompen una tras otra, como una cadena de pequeños colapsos. Esa sucesión rápida de roturas produce el crujido característico.

Por eso una galleta, un cereal de desayuno o una patata frita crujen mucho más que un alimento compacto y homogéneo. No solo importa de qué está hecho el alimento, sino también cómo está organizado por dentro.

El papel del agua: el gran regulador de la textura

El agua es uno de los factores más importantes en la textura de los alimentos. No solo porque moje o humedezca, sino porque modifica profundamente el comportamiento de las moléculas que forman el alimento.

En alimentos ricos en almidón, azúcares o proteínas, el agua actúa como un "plastificante". Dicho de forma sencilla: se coloca entre las moléculas, facilita que se muevan unas respecto a otras y hace que el material sea menos rígido y más flexible.

Por eso una galleta seca es crujiente, pero si absorbe humedad del aire se vuelve blanda. Al principio, su estructura está en un estado rígido y frágil. Cuando entra agua, las moléculas ganan movilidad y el material pasa a comportarse de manera más gomosa. La galleta ya no se rompe bruscamente: se dobla, se aplasta o se deshace sin crujir.

La paradoja del pan y la galleta

Aquí aparece una pregunta curiosa: si el agua ablanda las galletas, ¿por qué el pan se endurece con el tiempo?

La respuesta es que no todos los alimentos envejecen de la misma manera. En una galleta, el problema principal suele ser que absorbe humedad del ambiente y pierde su estructura crujiente. En el pan, en cambio, lo más importante ocurre en la miga: el almidón cocido va reorganizándose lentamente con el paso del tiempo.

Durante el horneado, el almidón del pan se hidrata y forma una estructura blanda. Pero al enfriarse y pasar las horas, parte de esas moléculas de almidón vuelven a ordenarse. Este proceso, llamado **retrogradación del almidón**, hace que la miga se vuelva más rígida y seca al tacto, aunque el pan no haya perdido necesariamente mucha agua.

Por eso el pan se endurece con el tiempo, mientras que una galleta puede ablandarse. En ambos casos interviene el agua, pero los procesos físicos y estructurales son distintos.

También por eso calentar un pan algo duro puede devolverle parte de su textura inicial: el calor ayuda temporalmente a deshacer parte de esa reorganización del almidón y la miga vuelve a parecer más tierna.

La manzana fresca: células llenas de agua a presión

En frutas y verduras frescas, el crujido tiene otro origen. Una manzana, una zanahoria o un apio no crujen como una galleta. En este caso, la clave está en sus células.

Las células vegetales se parecen a pequeños globos llenos de agua. Cuando están frescas, contienen agua a presión en su interior. Esa presión interna, llamada **turgencia**, mantiene las células tensas y da firmeza al tejido.

Al morder una manzana fresca, muchas células se rompen de golpe y liberan esa tensión. Por eso notamos una textura firme, jugosa y crujiente.

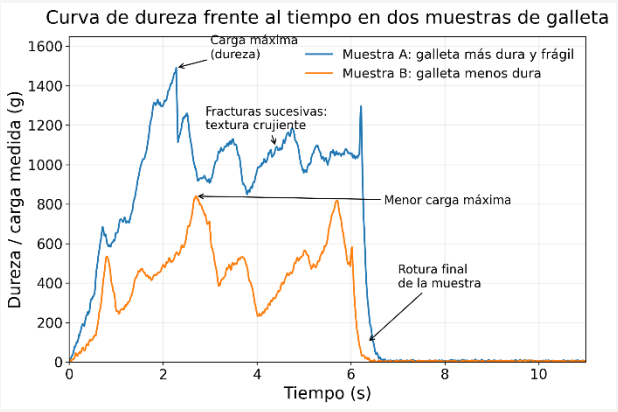
En una manzana harinosa ocurre algo diferente. No es solo que tenga menos agua, sino que la estructura que mantiene unidas las células se ha debilitado. Las paredes celulares se separan con más facilidad, en parte por cambios en sustancias como la pectina, que actúa como una especie de "cemento" entre células. En lugar de romperse de forma limpia y sonora, el tejido se deshace en la boca. Por eso la sensación es más pastosa o arenosa, y mucho menos crujiente.

Una misma idea física para muchos alimentos

La textura de los alimentos es, en el fondo, una manifestación cotidiana de la física de materiales. Cada mordisco combina fuerzas, deformaciones, fracturas, humedad, elasticidad y estructura interna.

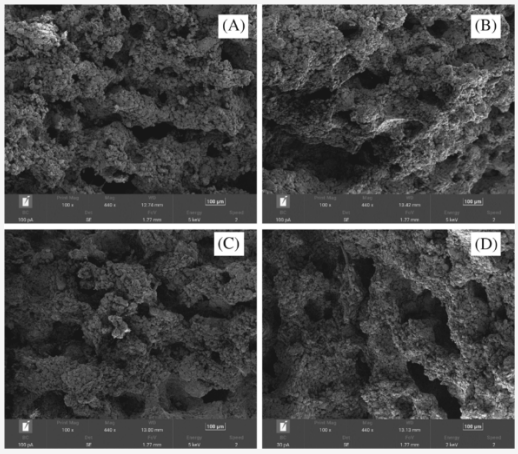
Propiedades mecánicas de la textura y su base física

Propiedad mecánica	Definición física	Qué la determina en un alimento	Ejemplo alimentario
Dureza	Fuerza máxima necesaria para deformar o fracturar	Red estructural del alimento: almidón, proteínas, fibra, grasa	Zanahoria cruda (dura) vs. cocida (blanda)
Elasticidad	Capacidad de recuperar la forma original tras la deformación	Redes proteicas y de polisacáridos que actúan como muelles	Pan, gominolas, queso fresco
Fracturabilidad / crujiente	Fragilidad a la fractura repentina con poca deformación previa	Estructura porosa y seca; baja actividad del agua	Galleta, corteza de pan, patata frita



Curva esfuerzo-deformación de un texturómetro para alimento crujiente vs. blando

Fuente: Elaboración propia



Microestructura de una galleta crujiente (SEM) mostrando la red porosa

Fuente: Literatura científica (Food Research International)

Preguntas de reflexión

1. Cuando una galleta cruje, no se rompe en un único punto, sino en muchas pequeñas fracturas. ¿Por qué una estructura porosa, con muchos huecos de aire, favorece ese sonido crujiente?
2. Una patata frita recién abierta cruje mucho, pero si se deja fuera de la bolsa durante unas horas pierde parte de ese crujido. ¿Qué papel puede tener la humedad del ambiente en este cambio?
3. Muchos envases de galletas o cereales intentan evitar que entre humedad. ¿Por qué conservar el producto seco es tan importante para mantener su textura?
4. Una tostada cruje más que una rebanada de pan fresco. ¿Qué cambios ha producido el tostado en el contenido de agua y en la estructura del pan?

Autores: Pascual Sevillano, Francisco José Torcal y Fernando Blesa. Dpto. de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza.