

TOCA-TOCA: EJEMPLOS SENCILLOS PARA CONCEPTOS COMPLEJOS EN ASIGNATURAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

Jose Gamez-Perez^{1,3}, Nuria Salán^{2,3}

¹ Dep. Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño (ESID), Universidad Jaume I, Castellon, España.

² Dep. Ciencia de Materiales e Ing. Metalúrgica, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.

³ IdM@tI: Red Interuniversitaria de Innovación Docente en Ciencia de Materiales (www.idmati.net).

Resumen:

En las asignaturas de tipo “Fundamentos de Ciencia de los Materiales” es habitual encontrar que la propuesta de temario es muy extensa y que en ella se introducen un gran número de conceptos, que van desde las bases físico-químicas de la estructura de la materia, hasta el comportamiento macroscópico de la misma, como son los fenómenos de fractura y fallo por corrosión.

Es una situación común que el estudiantado considere esta diversidad de contenidos como un problema, atendiendo a la dificultad para asimilar tal cantidad de conceptos, a menudo sin vínculos concretos y reales que permitan afianzar los modelos y asimilar los contenidos con coherencia. La consecuencia general de este fenómeno, es que la asignatura de materiales se pueda percibir como dificultosa y/o aburrida, a lo que se asociaría una baja tasa de superación.

En este trabajo se presenta una colección de recursos demostrativos, para su uso y aplicación en las aulas, que faciliten e ilustren algunos conceptos, habituales en asignaturas básicas de materiales. Estos ejemplos tienen la particularidad de ser “próximos”, con objetos cotidianos o no excesivamente “exclusivos”, de modo que el alumnado puede interactuar con ellos y “tocarlos”, llevando la experiencia sensorial a otros sentidos, además de la vista y el oído, para que permanezcan en la memoria el tiempo suficiente hasta que se puedan vincular con otro concepto o ejemplo.

Palabras clave: Experimentación en aula, recursos docentes, interacción, toca-toca...

1.-INTRODUCCIÓN.

La asignatura de Fundamento de Ciencia de los Materiales (o cualquier otra asignatura de nombre similar y contenido equivalentes) se imparte generalmente en los primeros años de titulación de los Grados en Ingeniería y tiene una gran relevancia en el ámbito de las ingenierías, ya que, en última instancia, cualquier diseño o estructura que se proyecte o cualquier objeto o componente que se fabrique, ha de realizarse empleando uno o varios materiales que estarán condicionados por la geometría, función y condiciones de utilización del producto. Es por ello que se considera una asignatura básica en todas las titulaciones de ingeniería.

No obstante, los contenidos que se imparten en una asignatura de este tipo tienen un elevado carácter transversal, ya que la relación entre estructura y propiedades implica necesariamente haber asumido unos mínimos conocimientos de física (mecánica, termodinámica, óptica, electricidad...) como también de química (enlaces, fuerzas de interacción, conceptos de cinética, cristalografía, reacciones químicas, etc.). A menudo, se da la circunstancia de que todos estos conceptos se trabajan por vez primera en el aula al cursar la asignatura básica de Materiales, lo que significa que el tiempo prorrateado que se le dedica a explicarlos es escaso y una parte del alumnado se pierde ante la incapacidad de seguir la explicación.

Algunas estrategias que se han probado históricamente, pasan por: complementar la teoría con prácticas de laboratorio, o bien por proporcionar numerosas referencias bibliográficas, compartir las transparencias

de la asignatura (apuntes fotocopiados o disponibles en plataformas de aula virtual). En algunos casos, se ha estudiado el efecto de la utilización de vídeos con contenidos explicados por el profesorado¹, o con contenidos prácticos de laboratorio [1,2] o bien de pequeñas “píldoras” de contenido audiovisual en un formato más o menos informal utilizando canales habituales y conocidos de vídeos online [3,4].

En la actualidad, la virtualización de la docencia, con el auge de Internet y los cursos a distancia, algunos de ellos incluso gratuitos, como los MOOCs, y la accesibilidad a la información escrita (libros, vídeos, etc.) nos plantea a los docentes preguntarnos cuál es el sentido de que los alumnos vengan a las clases, si no es para aportar algo diferente de lo que puedan conseguir un curso a distancia. El paradigma de la Universidad como fuente de información ha cambiado [5], para convertirse en lugares de formación.

En este sentido vemos muy positiva la introducción en el aula de pequeños experimentos que permitan a los alumnos interactuar manualmente con objetos que sirven de ejemplo para la asimilación de conceptos complejos (Fig.1). Estos ejemplos, generalmente vienen acompañados de una cierta “sorpresa”, lo que redundaría en que se facilite la acción de la memoria a medio y largo plazo. Si además se introducen en momentos en los que la atención del alumnado tiende a descender (a los 30 minutos, aproximadamente) se pueden conseguir varios objetivos simultáneos que redunden en la acción docente [6,7].

¹ <https://media.upv.es/#/catalog>



Figura 1. Esquema de la complementariedad perceptual en la asimilación de conocimientos.

2. EJEMPLOS PRÁCTICOS.

Se presentan a continuación algunos ejemplos a modo de colección de recursos demostrativos, para su uso y aplicación en las aulas, ilustren algunos conceptos, habituales en asignaturas básicas de materiales, abstractos y difíciles de explicar sólo con palabras.

Principios de metalurgia física:

Enlace metálico, estructura cristalina en metales y deformación plástica.

El enlace metálico y la formación de estructuras cristalinas compactas se pueden mostrar fácilmente empleando esferas magnéticas (Fig. 2). Los siguientes enlaces dirigen a videos explicativos sobre cómo realizar estas estructuras compactas [8,9].



Figura 2. Modelo de enlace metálico y formación de cristales con esferas magnéticas [8].

Con los mismos modelos de esferas magnéticas se puede mostrar la formación de una macla o la deformación plástica en cristales.

Igualmente, impactante suele ser la visualización de la estructura cristalina, empleando lingotes de bismuto (Fig. 3) o de cinc, estos últimos con un ligero tratamiento de pulido y ataque ácido.

Procesado de materiales (extrusión, moldeo, etc.)

Los procesos de transformación más comunes en materiales tienen un “equivalente” más sencillo en tareas de cocina, como por ejemplo la extrusión con su equivalente, la manga pastelera, o el proceso de colada empleado para realizar cubitos de hielo o bombones.

En cualquier caso, si se acompaña la introducción teórica con una explicación que se puede relacionar con una experiencia que los alumnos puedan realizar en sus propios hogares, se refuerza el efecto sorpresa y sacar la asignatura del aula, lo que aumenta la motivación general por la asignatura.

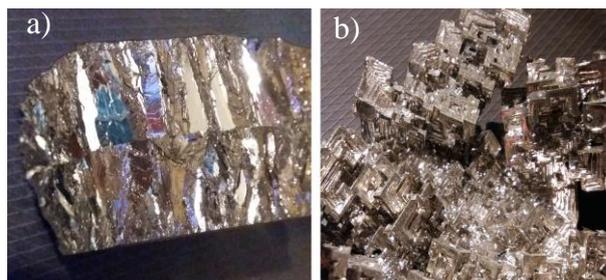


Figura 3. Muestras de lingotes de bismuto fracturado (a) y recristalizado (b), donde se puede observar la estructura policristalina del metal.

Efecto de la orientación en las propiedades mecánicas.

El concepto de la orientación inducida y de la anisotropía no suele verse antes de encarar la asignatura de Ciencia de los Materiales, ya que casi siempre se asume materiales isotropos. No obstante, mostrando porciones de folios de papel de dimensiones similares, pero cortados en forma rectangular con diferente orientación de la celulosa, se puede comprobar que se comportan diferentemente cuando se sostienen horizontalmente desde un extremo [10]

Cristalización.

El fenómeno de la cristalización implica una serie de condicionantes que suelen suponer un problema conceptual para los alumnos, como que un suceso sea espontáneo (termodinámicamente favorable) pero no sea instantáneo (cinéticamente lento o improbable). Esto lleva a situaciones aparentemente paradójicas como el subenfriamiento de los metales previo a su cristalización. Sin embargo, empleando *pocket warmers* (Fig. 4) se pueden evidenciar estos fenómenos de una manera sencilla de retener en la memoria. Sirve de base para explicar el subenfriamiento, la nucleación heterogénea, el crecimiento cristalino, la exotermicidad en la cristalización y la formación de esferulitas en la cristalización de los polímeros [11].



Figura 4. Un calentador de bolsillo o *pocket warmer* en una secuencia de su funcionamiento, cristalizando una solución sobresaturada de acetato de sodio.

Cambios de fase sólido-sólido

Los cambios de fase que implican un cambio de estado (sólido – líquido, por ejemplo) suelen ser intuitivos para el aula. Sin embargo, los cambios de fase que implican cambio en la estructura cristalina, manteniendo el mismo estado sólido suelen ser menos intuitivas. En este contexto, las aleaciones que exhiben memoria de forma, como el Nitinol™, presentan la oportunidad de comprobar in situ estas transformaciones de fase a temperaturas cercanas a la ambiental y permiten introducir el tema de los cambios de fase con un punto de intriga. Lo único que se necesita llevar al aula es una muestra entrenada y un secador de pelo, o en su ausencia, un mechero.

Física de polímeros

Elementos cotidianos suelen ser también recurrentes para explicar fenómenos o propiedades de materiales poliméricos. Es común emplear símiles: “es como si se tratara de...” pero suele ser más efectivo mostrar el ejemplo para que los alumnos puedan interactuar con el concepto.

Enmarañamiento y masa molecular

Empleando segmentos de cadenas de bolas, como las que se emplean en cortinillas, se puede visualizar el efecto que tiene la masa molecular en los enmarañamientos (*entanglements*) moleculares y cómo estos afectan a las propiedades físicas del material. Cuando los segmentos son muy pequeños se comportan como un fluido y se pueden trasvasar de un recipiente a otro sin problema. Cuando la longitud es intermedia, de unos 5 cm, el comportamiento sigue siendo fluido, pero tiende a comportarse más como un bloque, con la formación de algunos agregados. Cuando los segmentos son mayores, a partir de 20 cm, ya no es posible estirar uno sólo sin que arrastre a los demás y no es posible hacer que fluya de un recipiente de boca estrecha.



Figura 5. Las cadenas de bolas son un recurso muy adecuado para introducir el concepto de enmarañamientos (*entanglements*) en polímeros.

Temperatura de transición vítrea (T_g)

De nuevo la cocina es una fuente de modelos que replican los fenómenos de la física de polímeros. Al hervir los spaghetti, permitimos que la pasta tenga mayor movilidad, comportándose como polímeros amorfos por encima de su temperatura de transición vítrea. Al enfriarse éstos, el almidón que precipita hace

el rol de fuerzas de Van der Waals haciendo que los spaghetti se comporten como un polímero por debajo de su T_g , esto es, como un sólido. Si en el aula no se puede disponer de un par de tazones con pasta hervida, siempre se puede utilizar un vídeo [12][4.9].

Viscoelasticidad

Los fluidos que exhiben propiedades viscoelásticas notables suelen tener siempre un efecto intrigante en los alumnos, que se preguntan cómo puede eso ser posible. El uso del conocido juguete Silly Putty™ en el aula genera el doble efecto de explicar el fenómeno de la viscoelasticidad y su relación con propiedades como la termofluencia o *creep*, al tiempo que despierta la atención del alumnado.

Compuestos estructurales

La rigidización que se produce en los compuestos estructurales (paneles tipo sándwich) al aumentar el espaciado entre caras externas se puede visualizar empleando *origamis* estructurales. Doblando en forma de acordeón un folio y colocándolo entre dos hojas, se puede observar in-situ el efecto rigidizador del elemento intermedio. Adicionalmente, se puede animar a los alumnos a que realicen y evalúen estructuras sencillas empleando diferentes parámetros de diseño (número de folios, distancia entre caras, ubicación de la carga y puntos de apoyo) para guiarlos hacia la influencia de la estructura en las propiedades finales de los productos. La Fig. 6 ilustra esta experimentación que puede servir de introducción al cálculo de paneles sándwich.



Figura 6. Utilizando folios y un poco de cinta adhesiva se pueden crear estructuras con alta rigidez específica.

3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.

Los alumnos que cursan asignaturas básicas de Materiales (Ciencia de Materiales, Fundamentos de Ciencia de Materiales, etc.), suelen estar en los primeros cursos de estudios en ingeniería (*freshmen*). Es, pues, habitual, que se sientan a menudo desbordados por un gran número de conceptos matemáticos y técnicos durante el curso, que convierte a aquellas asignaturas que necesitan más tiempo y dedicación en asignaturas “ásperas y aburridas”. Sin embargo, se ha observado que en la mayoría de casos, la percepción de una materia puede cambiar y optimizarse gracias el efecto “toca-toca”, introduciendo ejemplos sencillos que

permitan la interactividad y la experimentación personal "in situ".

El empleo de estos recursos debe entenderse como una ayuda a la labor docente, aunque es cierto que llevan implícitamente algunos cambios en la definición de la programación de la asignatura y/o en los contenidos docentes universitarios, con el fin de explotar al máximo el efecto que tienen estas experiencias. Valga la reflexión de que si una imagen vale más que mil palabras, y un vídeo vale más que mil imágenes [13], ¿a cuántas palabras equivale un ejemplo que además se puede tocar?

Esta metodología para introducir conceptos puede convertirse en algo habitual en la asignatura, si bien, en ese caso, se requiere un ligero cambio de actitud por parte del profesorado para con el estudiantado, acercándose más desde el punto de vista personal y generando empatía. La creatividad, el humor y, si el temario lo permite, una cierta picardía, son recursos que ayudan a generar un clima de complicidad y que se traducen en una atención instantánea que se puede aprovechar para convertirla en interés por un tema concreto. Cualquier palabra de dos sílabas que contenga una "s" y una "x" pronunciada en voz alta, consigue que todos los alumnos dirijan su atención al docente durante los siguientes diez segundos, al menos.

Otro de los recursos docentes son las tecnologías de información y comunicación (TIC) en las que se ha producido una revolución en los últimos 20 años. El aprendizaje activo es aquel que viene inducido por la docencia activa. Introducir el móvil en el aula, por ejemplo, para la realización de actividades dirigidas es una buena manera de aprovechar estos recursos y estimular la autonomía formativa.

En cuanto a los resultados obtenidos desde el punto de vista de la satisfacción del estudiantado, se ha constatado mediante las encuestas de evaluación que ésta mejora notablemente con la introducción de los experimentos "toca-toca" en el aula. Además, la percepción del profesorado por parte de los alumnos también mejora y esto se traduce después en mayor interés por los temas de investigación relacionados o por una mayor demanda de asignaturas optativas relacionadas con la ciencia y tecnología de los materiales. Igualmente, también se ha comprobado un aumento por parte de los alumnos, del interés en el acceso a máster y doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales.

4.- AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo económico para esta acción de innovación educativa al Vicerrectorado de Estudiantes, Ocupación e Innovación Educativa de la Universitat Jaume I de Castellón a través del Proyecto de Innovación Educativa (PIE 3047/15).

5.- REFERENCIAS

- [1] D. Grau, et al. "GREDIQ-RIMA: The Evolution of a Teaching Project of Experimentation in Chemistry", *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 46 858–862, 2012.
- [2] Grau, D. et al. "Producciones digitales para la fase pre-laboratorio de experimentación en química", Séptimo Simp. Iberoam. En Educ. Cibernética E Informática SIECI 2010, Orlando, FL (USA), 2010.
- [3] A. Caspi, et al. "Viewing comprehension: Students' learning preferences and strategies when studying from video", *Instr. Sci.* 33, 2005.
- [4] P. Simo et al. " Video stream and teaching channels: quantitative analysis of the use of low-cost educational videos on the web" *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 2, 2010.
- [5] A.V. Sánchez, et al. "Evaluación de competencias genéricas: principios, oportunidades y limitaciones" *Bordón. Rev. Pedagog.* 63, 2014.
- [6] M. Martínez, "Guía para la evaluación de competencias en los laboratorios en el ámbito de ciencias y tecnología", <http://www.aqu.cat>, 2009.
- [7] E. Dale, "Audio-visual methods in teaching", Holt Rinehart and Winston, New York, 1965.
- [8] J. Gamez-Perez, Building a crystal with sphere magnets, <https://youtu.be/yOeL5tCPIVk>. 2016.
- [9] J. Gamez-Perez, "Crystal deformation with sphere magnets", <https://youtu.be/QppGR1syMgA>, 2016.
- [10] M.C. Area, "Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica 2008", Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel-Riadicypp, 2008.
- [11] J. Gamez-Perez, "Crystallisation of undercooled fluid". <https://youtu.be/JPBhwieXuVE>. 2016.
- [12] J. Gamez-Perez, "Spaghetti model for Tg in Polymers", <https://youtu.be/SBjnT-Jhvro>. 2016.
- [13] P. Simo et al. "Video stream y canales docentes: Análisis de la utilización de vídeos docentes de bajo coste en la Red", 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. XIII Congreso de Ingeniería de Organización, Terrassa, 2009