

Material-ES

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MATERIALES

Editora invitada

Gloria P. Rodríguez Donoso





Imagen de Portada:

Paneles de Mujeres pioneras en Ciencia e Ingeniería de Materiales que acompañan a la Exposición itinerante Los materiales que nos rodean.

“Materland: materiales, divulgación y vocaciones científicas”

G. P. Rodríguez-Donoso; A. Romero; R. Moreno; J. J. Damborenea; D. Sierra

Editor

Rodrigo Moreno. *Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC. Madrid. España.*

Secretaría

Anna Muesmann. *SOCIEMAT. Madrid. España.*

Junta Directiva de SOCIEMAT

Presidente:

Rodrigo Moreno Botella

Vicepresidente:

Daniel Sola Martínez

Secretaria:

Gloria Patricia Rodríguez Donoso

Tesorera:

Anna M^a Muesmann Torres

Presidente saliente:

Juan José de Damborenea González

Vocales:

Francisco Javier Barriga Berrocal

José Calaf Chica

Francisca García Caballero

Irene García Cano

Teresa Guraya Díez

Marta Mohedano Sánchez

Alberto Palmero Acebedo

Ana Romero Gutiérrez

Ángel de la Rosa Velasco

M^a Isabel Santacruz Cruz

URL: <http://sociemat.es>

Correo electrónico: info@sociemat.es / sociemat1996@gmail.com

Tel.: 618 170 493

Sociedad Española de Materiales SOCIEMAT

Entidad inscrita en el R^o Nacional de Asociaciones del

Ministerio del Interior, Grupo 1, Sección 1, Número Nacional 161428

ÍNDICE

ARTÍCULOS

Número especial con trabajos presentados en MATERDIVULGA25

Materland: materiales, divulgación y vocaciones científicas

G. P. Rodríguez-Donoso; A. Romero; R. Moreno; J. J. Damborenea; D. Sierra 45

Descubriendo los polímeros a través de experiencias visuales

N. Candau; T. Abt 49

Birrefringencia y fotoelasticidad

D. Sola 53

Innovación sostenible en la construcción: materiales de cambio de fase para el almacenamiento de energía térmica

N. López-Pérez; I. Lado-Touriño; O. Bernaldo-Pérez 56

Divulgar mediante arte, ciencia y tecnología. Luces, realidad aumentada y acción!

J. Osés; J. Moriones; M. Redín; P. Amézqueta; J. Fernández Palacio;
A. Méndez; M. Napal 60

Atrévete a encontrar: materiales en vuelo

A. Sanchez Romero; A. Romero Gutiérrez; D. Sierra Palacio; A. Cañadilla Sanchez 64

EDITORIAL

La divulgación científica ocupa un lugar cada vez más relevante dentro de la actividad de las sociedades científicas. Compartir el conocimiento generado por la comunidad investigadora, acercarlo a la sociedad y despertar nuevas vocaciones científicas y tecnológicas constituye una parte esencial de su misión. Con esta filosofía surgió Materland, una iniciativa impulsada por la Sociedad Española de Materiales (SOCIEMAT) y coordinada desde la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), que a lo largo de los últimos años se ha consolidado como una red nacional de divulgación en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Más allá del desarrollo de recursos educativos y actividades de comunicación científica, Materland ha contribuido a crear una comunidad formada por profesorado, personal investigador y personas dedicadas a la divulgación científica, comprometida con promover la cultura científica en el ámbito de los materiales, fomentar vocaciones científicas y tecnológicas y favorecer el intercambio de experiencias y recursos.

El presente número de Material-ES recoge una muestra de esta actividad divulgadora. Se abre con un artículo dedicado a presentar la trayectoria, la filosofía y las principales líneas de actuación de Materland, y continúa con una selección de trabajos presentados en MATERDIVULGA25, el III Congreso Nacional de Divulgación en Ciencia, Tecnología e Ingeniería de Materiales, celebrado en Toledo en junio de 2025.

La consolidación de Materland y el creciente interés que ha despertado MATERDIVULGA ponen de manifiesto que la divulgación ocupa hoy un lugar propio dentro de las líneas de actuación de SOCIEMAT. Confiamos en que este número contribuya a dar visibilidad a estas iniciativas, sirva de inspiración para nuevas propuestas y anime a un mayor número de personas a participar en esta línea de trabajo. La próxima edición del Congreso MATERDIVULGA se celebrará los días 16, 17 y 18 de junio de 2027 en el Campus de la Fábrica de Armas de Toledo de la Universidad de Castilla-La Mancha, con el propósito de seguir fortaleciendo esta red de colaboración y compartiendo nuevas experiencias en divulgación.

Gloria P. Rodríguez-Donoso
Editora Invitada

MATERLAND: MATERIALES, DIVULGACIÓN Y VOCACIONES CIENTÍFICAS

Gloria P. Rodríguez^{1,5}, Ana Romero^{2,5}, Rodrigo Moreno^{3,5}, Juan José Damborenea^{4,5}, Dora Sierra¹

¹ ETS Ingeniería Industrial de Ciudad Real, (ETSII-UCLM), Avda Camilo José Cela s/n, 13071 Ciudad Real, gloria.rodriguez@uclm.es

² Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo (EIIA-UCLM), Avenida Carlos III, s/n, 45071 Toledo, Ana.RGutierrez@uclm.es

⁴ Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC), c/ Kelsen 5. 28049 Madrid, rmoreno@icv.csic.es

² Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CISC), Avda Gregorio del Amo, 8, 28040 Madrid, jdambo@cenim.csic.es

⁵ Sociedad Española de Materiales (SOCIEMAT), info@sociemat.es

Resumen: La Ciencia e Ingeniería de Materiales desempeña un papel esencial en el desarrollo tecnológico actual, aunque continúa siendo una disciplina poco conocida fuera del ámbito académico e industrial. Con el objetivo de acercar el mundo de los materiales a la ciudadanía y fomentar vocaciones científicas y tecnológicas surge Materland, una red nacional de divulgación impulsada por la Sociedad Española de Materiales (SOCIEMAT), en la que participan cerca de cien personas pertenecientes a más de treinta universidades y centros de investigación. El proyecto desarrolla recursos educativos, actividades de formación e iniciativas de divulgación e iniciación a la investigación dirigidas a estudiantes, profesorado y público general. En este trabajo se presentan la filosofía del proyecto, sus principales líneas de actuación y algunos de los recursos e iniciativas desarrollados para acercar esta disciplina a la sociedad.

Palabras clave: divulgación científica, ciencia de materiales, ingeniería de materiales, vocaciones STEM, educación científica.

1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, la Ciencia e Ingeniería de Materiales constituye uno de los principales motores del progreso tecnológico. El desarrollo de nuevos materiales y la mejora de sus propiedades resultan esenciales para afrontar algunos de los grandes retos de nuestra sociedad, como la transición energética, la movilidad sostenible, la salud, la digitalización o la economía circular. Desde el almacenamiento de energía hasta los biomateriales, los dispositivos electrónicos o las tecnologías de fabricación avanzada, buena parte de la innovación actual depende del desarrollo de nuevos materiales.

Sin embargo, a pesar de su enorme impacto científico, tecnológico y económico, la Ciencia e Ingeniería de Materiales sigue siendo una disciplina relativamente desconocida para buena parte de la sociedad. En comparación con otras áreas STEM, los materiales tienen una presencia limitada tanto en las etapas educativas preuniversitarias como en las actividades de divulgación científica, a pesar de estar presentes en prácticamente todos los objetos y tecnologías de nuestro entorno cotidiano.

Esta situación pone de manifiesto la necesidad de desarrollar iniciativas que acerquen la Ciencia e Ingeniería de Materiales a la ciudadanía de una forma

accesible, participativa y rigurosa. La divulgación de esta disciplina requiere, además, iniciativas estables basadas en la colaboración entre universidades, centros de investigación, sociedades científicas y administraciones educativas, capaces de compartir recursos, experiencias y estrategias que faciliten la transferencia del conocimiento hacia las aulas y la sociedad.

2. MATERLAND, UNA RED NACIONAL PARA LA DIVULGACIÓN EN MATERIALES.

Con este objetivo nace Materland, una iniciativa impulsada por la Sociedad Española de Materiales (SOCIEMAT) y coordinada desde la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), cuyo propósito es crear una red nacional para la divulgación de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Entre sus objetivos se encuentran acercar el mundo de los materiales a la sociedad y al ámbito educativo, fomentar las vocaciones científicas y tecnológicas, proporcionar nuevos recursos didácticos al profesorado y promover la colaboración entre instituciones mediante una red nacional de divulgación. Los principales objetivos y líneas de actuación del proyecto se resumen en la Figura 1.

Desde su creación en 2020, Materland ha dado lugar a una comunidad colaborativa integrada por investigadoras e investigadores, profesorado y personal

divulgador de universidades, centros de investigación y otras entidades científicas de todo el país. Actualmente participan cerca de cien personas pertenecientes a más de treinta instituciones, que comparten recursos y experiencias para acercar la Ciencia e Ingeniería de Materiales a la sociedad y fomentar nuevas vocaciones científicas y tecnológicas.



Figura 1. Principales objetivos y líneas de actuación.

La colaboración entre universidades, centros de investigación, sociedades científicas y administraciones educativas constituye la base del proyecto, favoreciendo el intercambio de recursos y experiencias y el desarrollo de iniciativas conjuntas de divulgación.

A lo largo de estos años, Materland ha evolucionado gracias al desarrollo de proyectos financiados por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT): «Bienvenidos a Materland: acercándonos al maravilloso mundo de los materiales», «Materland: la aventura continúa» y «Descubriendo Materland». Estos proyectos han permitido ampliar progresivamente la red de participantes, desarrollar nuevos recursos didácticos y consolidar un amplio programa de actividades

dirigidas a estudiantes, profesorado y público general. Como resultado, el proyecto dispone actualmente de una extensa colección de recursos educativos y actividades divulgativas que acercan la Ciencia e Ingeniería de Materiales de una forma rigurosa, participativa y accesible, algunos de los cuales se presentan en la Figura 2.



Figura 2. Recursos educativos y actividades divulgativas desarrollados en el proyecto Materland.

3. RECURSOS DIVULGATIVOS Y ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN.

El desarrollo de recursos educativos constituye una de las principales líneas de actuación de Materland. El proyecto ha creado una amplia colección de materiales didácticos de libre acceso con el objetivo de facilitar la divulgación y la enseñanza de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Todos estos recursos se encuentran disponibles a través de la página web [1], concebida como una plataforma abierta de divulgación y aprendizaje que facilita su consulta y utilización por docentes, estudiantes, divulgadores e investigadores.

Los recursos desarrollados combinan formatos físicos y digitales e incluyen Materkits, infografías, fichas didácticas, contenidos virtuales, cómics, podcasts, videos divulgativos, paneles expositivos y una variada colección de juegos educativos, todos ellos adaptados a distintos públicos y contextos.

Una de las iniciativas más representativas del proyecto es la exposición itinerante «Los materiales que nos

rodean», concebida para acercar la Ciencia e Ingeniería de Materiales a la sociedad de una forma visual y didáctica. La exposición está formada por diez paneles temáticos dedicados a las principales familias de materiales y a sus aplicaciones en ámbitos como la energía, la salud, el transporte, la construcción, la electrónica o el deporte. La exposición se complementa con muestras representativas de materiales. Su carácter itinerante ha permitido exhibirla en diferentes ciudades españolas, entre ellas Madrid, Barcelona, Granada, Sevilla, Toledo, Ciudad Real, Mondragón y Fuente Obejuna.

Como complemento, el proyecto ha desarrollado la exposición «Mujeres en Ciencia e Ingeniería de Materiales», integrada por siete paneles dedicados a investigadoras que han realizado contribuciones relevantes al desarrollo de los materiales (Figura 3). Ambas exposiciones ofrecen una visión complementaria de la disciplina, combinando la divulgación del mundo de los materiales con la visibilización de referentes femeninos.



Figura 3. Paneles de Mujeres pioneras en Ciencia e Ingeniería de Materiales que acompañan a la Exposición itinerante *Los materiales que nos rodean*.

Con el propósito de fomentar un aprendizaje activo y participativo, Materland ha desarrollado diferentes juegos educativos, entre ellos juegos de cartas, juegos de mesa, El Rosco de los Materiales y el juego interactivo Mujeres en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Estos recursos incorporan estrategias de gamificación para reforzar conceptos relacionados con la Ciencia e Ingeniería de Materiales, promover el aprendizaje

colaborativo y aumentar la motivación del alumnado tanto en el aula como en actividades de divulgación.

Los Materkits constituyen otro de los recursos didácticos representativos del proyecto. Se trata de maletines que reúnen muestras de las principales familias de materiales junto con recursos de apoyo para facilitar su utilización en actividades docentes y de divulgación. Concebidos para el desarrollo de talleres experimentales, permiten acercar los materiales al alumnado mediante actividades prácticas que favorecen la observación, la experimentación y la comprensión de la relación entre las propiedades de los materiales y sus aplicaciones tecnológicas.

En conjunto, estos recursos proporcionan herramientas versátiles que facilitan la divulgación y enseñanza de la Ciencia e Ingeniería de Materiales en contextos muy diversos, desde el aula hasta ferias científicas, museos, congresos y otras actividades dirigidas al público general.

4. FORMACIÓN E INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN.

Los recursos educativos desarrollados en Materland adquieren todo su potencial cuando se integran en actividades de formación, experimentación y divulgación. Con este objetivo, el proyecto impulsa iniciativas dirigidas a la formación del profesorado, la iniciación a la investigación y el intercambio de experiencias, favoreciendo la participación de docentes, estudiantes, investigadores y divulgadores.

Una de las actuaciones con mayor impacto es el curso «La Ciencia de los Materiales. Recursos didácticos para el aula», organizado en colaboración con el Centro Regional de Formación del Profesorado de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes de Castilla-La Mancha. Dirigido a docentes en activo de Educación Secundaria y Bachillerato, el curso proporciona una formación científica actualizada y pone a disposición del profesorado los recursos educativos desarrollados en Materland para facilitar su incorporación al aula (Figura 4). El programa combina contenidos científicos sobre diferentes ámbitos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, abordando, entre otros, temas como los nanomateriales, los biomateriales, los materiales sostenibles en construcción, los materiales para la energía y la corrosión de los metales, junto con propuestas didácticas basadas en la experimentación, el aprendizaje activo y la iniciación a la investigación. La participación de especialistas procedentes de universidades y organismos públicos de investigación de todo el país permite acercar al profesorado los avances

más recientes en Ciencia e Ingeniería de Materiales y reforzar el vínculo entre la investigación y la enseñanza.



Figura 4. Curso *La Ciencia de los Materiales*. Recursos didácticos para el aula.

La iniciación a la investigación constituye otro de los pilares de Materland. En este ámbito destaca EXPERIMAT, una iniciativa que invita al alumnado a diseñar, realizar y comunicar experimentos relacionados con los materiales, favoreciendo un primer contacto con el método científico mediante una aproximación práctica, creativa y participativa. El proyecto organiza además los concursos FOTOCORR y MEMES, que utilizan la fotografía científica y la creatividad digital como herramientas para divulgar conceptos científicos, fomentar el pensamiento crítico y estimular la participación del alumnado.

La consolidación de la red Materland puso de manifiesto la necesidad de crear un espacio estable para el intercambio de experiencias en divulgación. Con este propósito nació MATERDIVULGA, el Congreso Nacional de Divulgación en Ciencia, Tecnología e Ingeniería de Materiales, concebido como un punto de encuentro para estudiantes, profesorado, personal investigador y quienes desarrollan actividades de divulgación científica, favoreciendo el intercambio de recursos y metodologías (Figura 5).

La cuarta edición del congreso, MATERDIVULGA27, se celebrará en el Campus de la Fábrica de Armas de Toledo los días 16, 17 y 18 de junio de 2027. Entre las novedades de esta edición destaca la celebración de un simposio con actividades específicas destinadas a visibilizar la contribución de las mujeres en este ámbito, reforzando el compromiso del proyecto con la igualdad y la promoción de referentes femeninos.

5. CONCLUSIONES.

Materland constituye una iniciativa que impulsa la divulgación de la Ciencia e Ingeniería de Materiales mediante el desarrollo de recursos educativos,

actividades de formación e iniciativas de iniciación a la investigación. La colaboración entre universidades, centros de investigación, y administraciones educativas ha permitido crear una red estable para compartir recursos y experiencias, ampliando el alcance de las actividades de divulgación.



Figura 5. Taller de Podcast durante el Congreso Nacional MATERDIVULGA.

La plataforma de recursos educativos, las exposiciones itinerantes, el curso de formación del profesorado, los concursos y el Congreso Nacional MATERDIVULGA contribuyen a acercar esta disciplina a la sociedad, promoviendo una mayor participación de estudiantes, docentes e investigadores.

La evolución de Materland pone de manifiesto la importancia de impulsar iniciativas estables de colaboración que fortalezcan la cultura científica y contribuyan a despertar nuevas vocaciones científicas y tecnológicas.

Como línea de futuro, Materland aspira a extender esta red a toda la comunidad hispanohablante, favoreciendo el intercambio de recursos educativos y experiencias de divulgación y contribuyendo a reforzar el español como lengua de comunicación científica.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto «Materland: los materiales que nos rodean», (FCT-25-22977), financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Agradecemos la colaboración de todas las personas e instituciones que forman parte de la red Materland, cuya dedicación ha sido fundamental para el desarrollo de las actividades y recursos presentados en este trabajo.⁷

REFERENCIAS

[1] <https://materland.sociemat.es/>

DESCUBRIENDO LOS POLIMEROS A TRAVES DE EXPERIENCIAS VISUALES

N. Candau^{1,2}, T. Abt^{1,2},

¹eb-POLICOM - e-PLASCOM, Departament de Ciència i Enginyeria de Materials, Barcelona-Tech, Campus Diagonal Besòs-EEBE, Universitat Politècnica de Catalunya - Barcelona, 08019, Spain,

nicolas.candau@upc.edu

²Center for Research in Multiscale Science and Engineering of Barcelona, Barcelona-Tech, Campus Diagonal Besòs-EEBE, Universitat Politècnica de Catalunya - Barcelona, 08019, Spain,

Resumen: Los polímeros están presentes en numerosos objetos cotidianos, pero sus propiedades fundamentales son poco conocidas por el público general. Para acercar estos conceptos de forma accesible, proponemos una serie de actividades experimentales dirigidas a estudiantes de secundaria, realizadas durante visitas a la universidad. A través de demostraciones visuales y participativas, se exploran fenómenos clave del comportamiento polimérico. Se ilustra la transición vítrea (T_g) mediante el enfriamiento de un guante de nitrilo en nitrógeno líquido, volviéndolo frágil como vidrio, y con pruebas de impacto en plásticos por encima y por debajo de su T_g . Se introduce el concepto de elasticidad entrópica estirando una muestra de caucho, observando cómo su fuerza aumenta al calentarla. Finalmente, se demuestra el efecto elastocalórico: al estirar manualmente una muestra, se percibe un calentamiento; al soltarla, un enfriamiento acercándola a los labios. Estos cambios se visualizan también con cámara térmica portátil. Las experiencias permiten descubrir de manera tangible las propiedades de los polímeros, haciendo la experiencia memorable.

Palabras clave: polímeros, divulgación científica, transición vítrea, elasticidad entrópica, efecto elastocalórico, experiencias visuales.

1. INTRODUCCIÓN.

Los materiales poliméricos están presentes en casi todos los aspectos de nuestra vida moderna: envases, textiles, electrodomésticos, automóviles, componentes electrónicos, prótesis médicas, entre muchos otros. Sin embargo, la ciencia que subyace a su comportamiento mecánico y térmico es compleja, y no suele estar al alcance del público general ni de los estudiantes de niveles preuniversitarios.

En el marco del grupo de investigación e-PLASCOM de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), hemos diseñado una serie de experiencias divulgativas orientadas a estudiantes de bachillerato, con el objetivo de introducir conceptos fundamentales de la física de polímeros mediante actividades visuales y participativas. Estas experiencias se han llevado a cabo durante jornadas de puertas abiertas en el campus, la Semana de la Ciencia y el programa Escolab.

El enfoque multisensorial permite que el aprendizaje se realice a través de la vista, el tacto, el oído e incluso el olfato, transformando fenómenos complejos como la transición vítrea o la termodinámica de los elastómeros en vivencias concretas y memorables. A continuación, se presentan tres de estas experiencias ilustrativas.

2. EXPERIENCIA I: TRANSICIÓN VÍTREA EN LOS POLÍMEROS.

La transición vítrea es el fenómeno por el cual un polímero amorfo o semi-cristalino cambia de un estado rígido y frágil (vítreo) a uno más blando y flexible (gomoso) al aumentar la temperatura [1]. Esta transformación ocurre alrededor de una temperatura

denominada temperatura de transición vítrea, T_g (g por *glass transition* en inglés). Esta propiedad térmica es esencial para entender los mecanismos de relajación molecular (movimiento de los átomos alrededor de posiciones de equilibrio, como se ilustra en la figura 1) que tienen un impacto directo en el comportamiento mecánico de los plásticos en distintas condiciones. Las esferas pueden representar átomos o grupos de átomos (moléculas) que tienen enlaces fuertes entre ellos (enlaces covalentes representados por las líneas). El polímero está constituido por varias cadenas de estos átomos o grupos de átomos. Por debajo de la temperatura de transición vítrea el polímero está en estado vítreo y tiene poco movimiento molecular, por encima está en estado gomoso y tiene alto movimiento molecular. Por tanto, un polímero puede encontrarse a temperatura ambiente en estado vítreo (una parte de los plásticos) o en estado gomoso (la mayoría de los elastómeros).

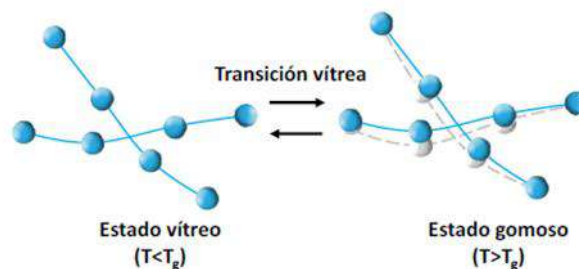


Figura 1. Esquema del principio de transición vítrea en los polímeros. En azul los trozos de cadenas poliméricas en un instante t ; en gris, los mismos trozos de cadenas poliméricas en otro instante debido al movimiento molecular.

La primera demostración consiste en sumergir un guante de nitrilo en nitrógeno líquido ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tras unos segundos, el material, normalmente flexible, ya que es un polímero tipo elastómero, que se encuentra a temperatura ambiente en estado gomoso y flexible, se vuelve rígido y frágil debido a la inmovilización de las cadenas poliméricas, y se rompe fácilmente al aplicarle una fuerza, mostrando un comportamiento vítreo (Figura 2). Al bajar su temperatura por debajo de su propia T_g , el guante de nitrilo se “vitrifica”.



Figura 2. Demostración del cambio de propiedades de un guante de nitrilo, típicamente deformable a temperatura ambiente, pero se vuelve vítreo a bajas temperaturas sumergiéndolo en nitrógeno líquido.

En una segunda experiencia, se ilustra el principio de la T_g , comparando el comportamiento mecánico de dos plásticos comunes: el poliestireno (PS), con una T_g por encima de la temperatura ambiente, y el polietileno de alta densidad (HDPE), con una T_g por debajo de la temperatura ambiente. Se realizan ensayos de impacto tipo Charpy para evidenciar cómo el PS se rompe de forma frágil, mientras que el HDPE muestra un comportamiento más dúctil. Esta comparación tangible permite relacionar temperatura, estructura molecular y propiedades mecánicas (Figura 3).

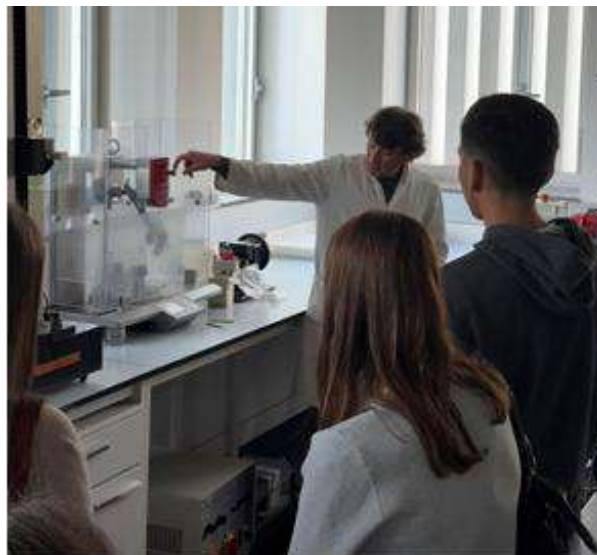


Figura 3. Experiencia de impacto Charpy donde se utiliza un péndulo que impacta materiales poliméricos frágiles (se comportan como vidrios) o dúctiles (capaces de absorber el impacto deformándose mucho antes de romper).

3. EXPERIENCIA II: ELASTICIDAD ENTRÓPICA DE LOS ELASTÓMEROS.

A diferencia de los materiales metálicos o cerámicos, los elastómeros son una clase de materiales que presentan una elasticidad de origen entrópico, que se representa en la figura 4 [2]. En estado de “reposo” (de equilibrio estadístico o de estado más estable termodinámicamente, denominado ovillo estadístico), las cadenas poliméricas están enredadas aleatoriamente, y tienen una entropía grande (es decir un desorden grande). Si no se aplica ningún cambio de temperatura o ninguna presión exterior, las cadenas siempre se encontrarán en este estado de “reposo”. Al estirarlas, éstas se alinean, reduciendo la entropía del sistema (el desorden es menor). Esta disminución de entropía implica una fuerza restauradora por parte del material mismo que busca recuperar el estado desordenado más estable.

Para ilustrar este concepto, se utiliza una máquina de tracción que estira una muestra de caucho natural (Figura 5). Una vez estirada, se visualiza la fuerza necesaria para mantener la muestra tensa. A continuación, se calienta la muestra con aire caliente mediante un secador de pelo. Se observa que la fuerza necesaria para mantener la deformación aumenta con la temperatura, en contraste con lo que ocurre, por ejemplo, en materiales metálicos. Este comportamiento se explica por el incremento de la tendencia entrópica a recuperar el estado inicial al aumentar la agitación térmica de los átomos que constituyen las cadenas de elastómero.

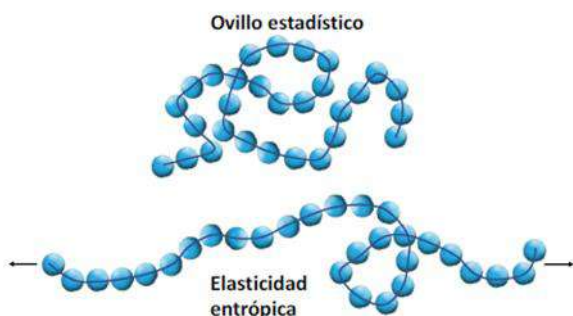


Figura 4. Esquema del concepto de elasticidad entrópica representando una cadena polimérica (sucesión lineal de átomos con enlaces fuertes) en estado de equilibrio (ovillo estadístico) y en estado estirado en el cual aparecen cierto alineamiento, anisotropía y orden (la entropía disminuye).

Este fenómeno permite introducir conceptos termodinámicos mediante una observación visual de un cambio de rigidez del material.



Figura 5. Experiencia de calentamiento de una muestra de elastómero estirado en una máquina de tracción.

4. EXPERIENCIA III: EFECTO ELASTOCALÓRICO.

El efecto elastocalórico consiste en variaciones de temperatura inducidas por la deformación de ciertos

elastómeros, derivadas de cambios en su estructura interna (Figura 6) [3]. Con la ayuda de una cámara térmica portátil (HIKMICROVIEWER [4]), se pueden visualizar estos cambios: aumentos superiores a 30 °C al estirar rápidamente la muestra, y descensos de hasta 13 °C al soltarla. El esquema enseña cómo se calientan las cadenas poliméricas a medida que aparecen los mecanismos de deformación: la elasticidad entrópica genera un primer calentamiento menor (efecto termoelástico), la cristalización bajo deformación del elastómero genera un segundo calentamiento mayor (calor latente de cambio de fase). La visualización térmica en tiempo real tiene un impacto en los participantes, quienes comprenden intuitivamente el vínculo entre estructura molecular y propiedades térmicas de estas clases de polímeros.

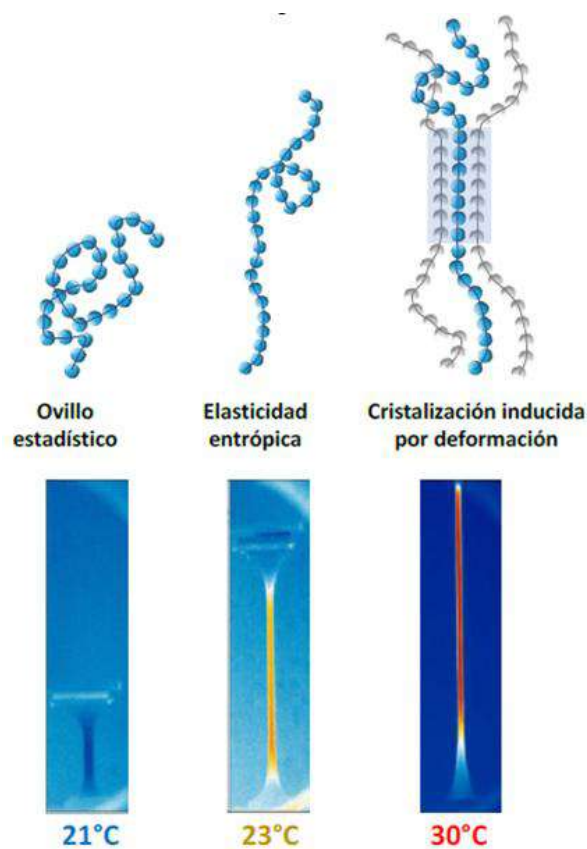


Figura 6. Esquema de las cadenas poliméricas de elastómero en varios estados deformados (no deformados a la izquierda o altamente deformados a la derecha). Las imágenes de cámara infrarroja ilustran la temperatura en la superficie de una muestra de elastómero en diferentes estados de deformación (azul corresponde a temperatura ambiente de 21°C, amarillo a 23°C y rojo a 30°C).

En otra experiencia, se estira manualmente una banda de goma y se coloca sobre los labios, una zona especialmente sensible a la temperatura. Se percibe un calentamiento durante el estiramiento (proceso exotérmico) y un enfriamiento al soltar la muestra

(proceso endotérmico). Este cambio se debe a mecanismos descritos anteriormente como la cristalización inducida por deformación (SIC), que libera calor, y su fusión al relajarse, que lo absorbe.



Figura 7. Al acercar rápidamente una tira de caucho a los labios después de haberla estirado, se siente un calor. Este efecto podría ocurrir debido a cualquier tipo de mecanismo disipativo en polímeros (fricción molecular o ruptura de enlaces intramoleculares. Sin embargo, cuando se relaja la misma muestra, y se vuelve a poner en los labios, sentimos frío, lo que descarta efectos disipativos. Este frío es debido entre otras cosas a la fusión de los cristales formados previamente durante la deformación. La cristalización, siendo exotérmica, tiene como efecto calentar el material (el material libera el calor), aunque la fusión, siendo endotérmica, enfría el material (el material absorbe el calor).

5. CONCLUSIONES.

Hemos presentado tres experiencias didácticas que permiten introducir conceptos clave de la ciencia de polímeros de forma accesible y sensorial: la transición vítrea, la elasticidad entrópica y el efecto elastocalórico.

Estas actividades han demostrado ser eficaces para captar el interés de estudiantes de bachillerato y fomentar la comprensión de conceptos complejos a través de la experiencia directa. Las reacciones del alumnado son muy positivas, destacando la sorpresa y el entusiasmo al "sentir" físicamente los fenómenos.

De cara al futuro, se está trabajando en simplificar las experiencias para prescindir de equipamiento de laboratorio especializado (como máquinas de tracción o ensayos de impacto) y ampliar el rango sensorial de las actividades, integrando otros estímulos como sonido y olor, para hacerlas aún más accesibles y transportables a contextos escolares.

6. REFERENCIAS.

[1] M. C. Shen and A. Eisenberg, 'Glass transitions in polymers', *Progress in Solid State Chemistry*, vol.

3, pp. 407–481, Jan. 1967, doi: 10.1016/0079-6786(67)90039-8.

[2] R. T. Deam and S. F. Edwards, 'The theory of rubber elasticity', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 280, no. 1296, pp. 317–353, Jan. 1997, doi: 10.1098/rsta.1976.0001.

[3] J. P. Joule, 'V. On some thermo-dynamic properties of solids', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 149, pp. 91–131, Jan. 1997, doi: 10.1098/rstl.1859.0005.

[4] 'HIKMICRO Viewer Software'. Accessed: Jun. 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.hikmicrotech.com/en/industrial-products/hikmicro-viewer-software/>

BIRREFRINGENCIA Y FOTOELASTICIDAD

D. Sola^{1,2}

¹Fundación Agencia Aragonesa para la Investigación y el Desarrollo (ARAID), Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España

²Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA), Universidad de Zaragoza-CSIC, Zaragoza, España

dsola@unizar.es

Resumen: La birrefringencia es un fenómeno óptico en el que la luz que incide en un material se desdobra en dos rayos polarizados perpendicularmente debido a que el material posee dos índices de refracción. Este fenómeno, típicamente presente en materiales anisótropos, puede ser inducido en materiales isotrópicos y transparentes al someterlos a tensiones mecánicas, lo que se conoce como birrefringencia por estrés o fotoelasticidad. El presente artículo describe dos experimentos didácticos diseñados para estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato en los que se presentan los fundamentos de la birrefringencia y su aplicación a la fotoelasticidad.

Palabras clave: Birrefringencia, Fotoelasticidad, Polarización.

1. INTRODUCCIÓN.

La birrefringencia fue descrita por primera vez por el científico danés Rasmus Bartholin en el año 1669 al observar un cristal de espato de Islandia o calcita. Posteriormente, en 1808, el físico francés Étienne-Louis Malus explicó que este fenómeno se encontraba relacionado con el fenómeno de polarización de la luz y su naturaleza de onda electromagnética. Se trata de un fenómeno óptico que se produce cuando la luz que incide sobre un material se desdobra en dos rayos polarizados perpendicularmente. Es decir, el material tiene dos índices de refracción: uno ordinario, n_o , y otro extraordinario, n_e . Este fenómeno solo se produce en materiales anisótropos. La birrefringencia se cuantifica por la diferencia entre ambos índices $\Delta n = n_o - n_e$. Otros materiales típicos birrefringentes, además de la calcita, son el Cuarzo, el Zafiro, el Niobato de Litio, el Celofán, el Poliestireno, y el Polipropileno.

La fotoelasticidad es una técnica experimental que permite observar tensiones mecánicas y deformaciones en materiales isotrópicos y transparentes. Algunos materiales, al someterlos a tensión mecánica, se vuelven anisótropos ópticamente. Este fenómeno también se conoce como birrefringencia por estrés o birrefringencia mecánica. Esta técnica tiene múltiples aplicaciones en ingeniería y en ciencia de los materiales, en la industria automotriz y en el desarrollo de dispositivos médicos y prótesis, en las que el análisis de tensiones en componentes estructurales es crucial.

En este artículo se describen dos experimentos que permiten acercar al alumnado a los fundamentos de la birrefringencia y de la fotoelasticidad.

2. MATERIALES NECESARIOS.

A continuación, se detallan los materiales empleados para la realización de los experimentos:

- 1 banco óptico.
- 2 polarizadores lineales.
- 1 láser continuo.
- 1 lámpara + papel cebolla (fuente de luz difusa).
- 1 pantalla (folio o similar).
- 1 funda de plástico.
- 1 regla.
- 1 placa Petri o materiales similares.

Como medida de precaución, **no se debe mirar nunca directamente al láser.**



Figura 1. Material necesario para la realización de los experimentos.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

En primer lugar, situaremos los polarizadores en el banco óptico con los ejes de transmisión paralelos y los iluminaremos con el láser, de manera que podremos observar en la pantalla la luz proveniente del láser, Figura 2(a). Seguidamente, giraremos 90 grados el eje del segundo polarizador, el más próximo a la pantalla y que se denomina habitualmente *analizador*. Observaremos que al ir girando el eje del polarizador la

luz de la pantalla se va cancelando hasta desaparecer completamente, Figura 2(b).

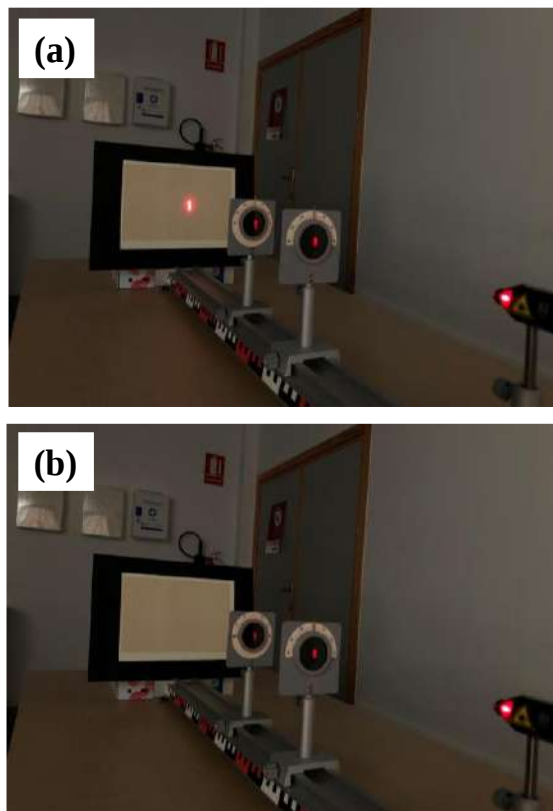


Figura 2. Configuración de polarizadores con los ejes de transmisión paralelos (a), y cruzados (b).

A continuación, en configuración de polarizadores cruzados, introduciremos entre los polarizadores la funda de plástico (Figura 3). Observaremos que, al girarla, en la mayoría de las posiciones sí se transmite parte de la luz a la pantalla, y que hay dos posiciones perpendiculares para las que la luz no se transmite. Esto es debido a que el plástico, aunque parezca uniforme, ha sufrido estiramientos durante su fabricación, lo que ordena parcialmente sus moléculas y lo convierte en un material birrefringente. Esto implica que la luz linealmente polarizada proveniente del primer polarizador, al alcanzar la funda de plástico, se divide en dos componentes que viajan a diferentes velocidades dentro del plástico y se recombinan al salir, cambiando su dirección de polarización. En la mayoría de las orientaciones, esa nueva polarización no coincide con la del segundo polarizador, por lo que parte de la luz consigue pasar y observarse en la pantalla. Sin embargo, en las dos posiciones donde no se transmite luz, los ejes ópticos del plástico (también llamados líneas neutras) quedan alineados con los ejes de los polarizadores. En esas dos orientaciones, la luz no se descompone ni cambia su polarización, por lo que el segundo polarizador la bloquea completamente. Así, el patrón de transmisión que observamos al girar la funda es una demostración directa de su birrefringencia y de la existencia de líneas neutras dentro del material.

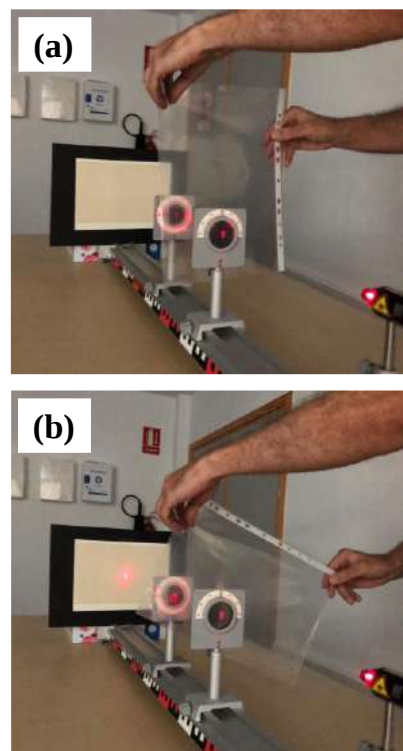


Figura 3. Experimento de birrefringencia con una funda de plástico.

El siguiente experimento consiste en fabricar un polariscopio de luz transmitida. Para ello, sustituiremos el láser por una fuente de luz difusa y procederemos inicialmente como en el primer paso del experimento anterior, observando que la luz transmitida se cancela en la pantalla en la configuración de polarizadores cruzados, Figura 4.

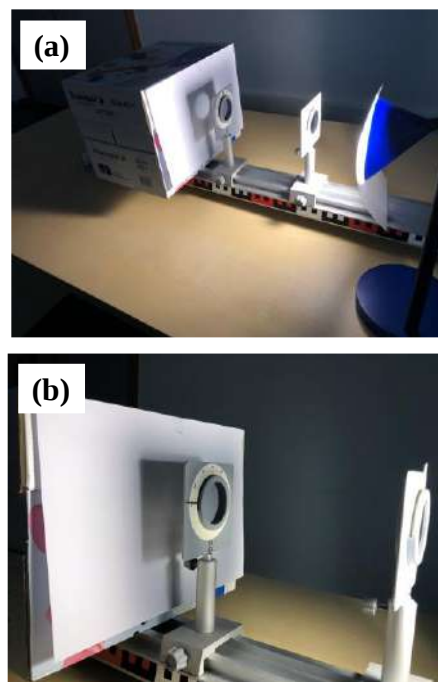


Figura 4. Configuración de polarizadores con los ejes de transmisión paralelos (a), y cruzados (b), al utilizar una fuente de luz difusa.

A continuación, retiraremos la pantalla para poder observar directamente la luz proveniente de la lámpara a través de los polarizadores. Giraremos los polarizadores y observaremos cómo la luz se cancela. En esta posición de polarizadores cruzados introduciremos entre los polarizadores la placa Petri, la regla, unas gafas o cualquier otro material que tengamos preparado. Podremos observar que se genera un patrón de franjas y colores, Figura 5.

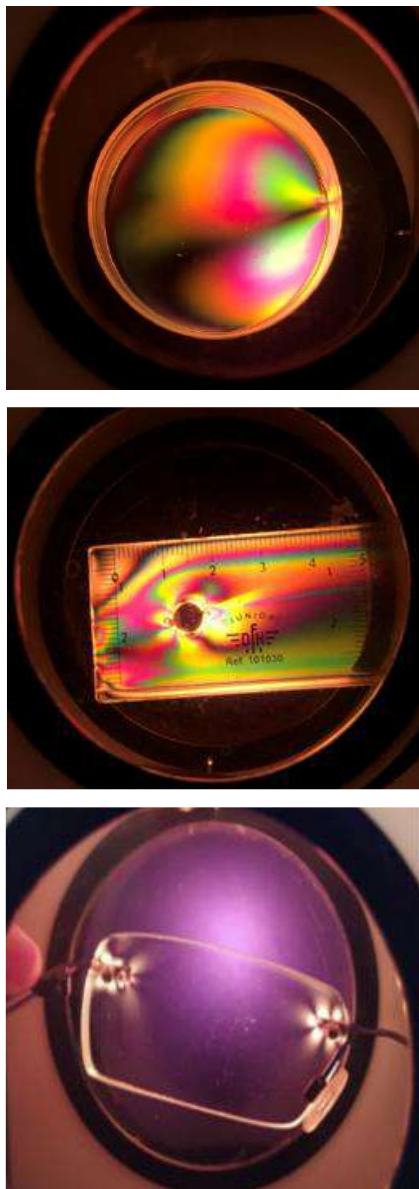


Figura 5. Ejemplo de imágenes de una placa Petri, una regla y unas gafas observadas a través de un polariscopio.

Estos colores no son propios del material, sino que se deben a un fenómeno óptico llamado birrefringencia por estrés, inducido por tensiones internas en el material. Los objetos de plástico se fabrican habitualmente por moldeo o inyección. Durante el proceso de fabricación, las moléculas que componen el polímero se estiran y quedan orientadas, lo que hace que la luz se propague a distintas velocidades según su dirección dentro del material. Al pasar la luz polarizada por el plástico, se

divide en dos componentes que recorren caminos ligeramente diferentes y se vuelven a combinar al salir, produciendo interferencias. Como la luz blanca contiene todos los colores, algunas longitudes de onda se refuerzan y otras se cancelan, dando lugar a los colores de tensión que vemos. Las zonas oscuras, llamadas líneas neutras, son regiones donde la luz no se descompone porque la dirección de polarización coincide con la del material. En conjunto, el patrón de colores revela cómo están distribuidas las tensiones internas en el plástico, y nos permite visualizar fenómenos invisibles a simple vista mediante la birrefringencia.

En el caso de las gafas, aparece un cambio de color o de brillo en las zonas alrededor de los tornillos o de la montura. Esto ocurre porque al apretar los tornillos o durante el corte y pulido de las lentes se generan tensiones mecánicas en los materiales, tanto si son de plástico como de vidrio. Estas tensiones alteran la estructura interna del material y lo vuelven birrefringente, es decir, hacen que la luz se propague a distintas velocidades según su dirección dentro de la zona afectada. Al atravesar esas regiones, la luz polarizada se divide en dos componentes que viajan a diferente velocidad y se combinan al salir, produciendo interferencias que cambian su polarización y originan los colores o variaciones de intensidad observadas. De esta forma, el polariscopio permite visualizar las tensiones internas generadas por la presión de los tornillos o por los procesos de fabricación y ajuste de las gafas, revelando detalles invisibles a simple vista.

4. CONCLUSIONES.

Estos experimentos han permitido poner de manifiesto el fenómeno físico de la birrefringencia. Este efecto aparece cuando un material transparente presenta tensiones internas o una estructura anisótropa, haciendo que la luz se propague a diferentes velocidades según su dirección y polarización. Como consecuencia, la luz polarizada se descompone en dos componentes que recorren caminos distintos y se combinan al salir, produciendo interferencias que pueden verse como cambios de intensidad, color o brillo. Así, estos experimentos permiten visualizar de forma directa cómo la luz revela propiedades invisibles de los materiales, mostrando las huellas ópticas de sus tensiones internas y procesos de fabricación.

5. AGRADECIMIENTOS.

El autor agradece la financiación de la investigación a los proyectos Gobierno de Aragón, Grupos de Investigación T02_23R, Procesado y Caracterización de Cerámicas Estructurales y Funcionales, PROCACEF, y COST Action CA21159, Understanding interaction light – biological surfaces: possibility for new electronic materials and devices.

6. REFERENCIAS.

- [1] Hecht, E., "Óptica", Ed. Pearson, 2017.
- [2] Ditchburn, R.W., "Óptica", Ed. Reverté, 1982.
- [3] Casas, J., "Óptica", Zaragoza, 1994.

INNOVACIÓN SOSTENIBLE EN LA CONSTRUCCIÓN: MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA

Norma López-Pérez^{1,2}, Isabel Lado-Touriño², Olga Bernaldo-Pérez²

¹Tecnológico Nacional de México- Instituto Tecnológico de Pachuca

²Escuela de Arquitectura, Ingeniería, Ciencia y Computación, Universidad Europea de Madrid

norma.lp@pachuca.tecnm.mx, misabel.lado@universidadeuropea.es,

mariaolga.bernaldo@universidadeuropea.es

Resumen: El creciente consumo energético destinado al confort térmico en edificaciones hace necesario impulsar estrategias de descarbonización en el sector de la construcción. En este contexto, los materiales de cambio de fase (PCM) representan una alternativa eficaz para mejorar la eficiencia energética gracias a su capacidad de almacenar y liberar calor durante procesos de fusión y solidificación. Este trabajo tiene como objetivo determinar el método más adecuado para encapsular el polietilenglicol 600 (PEG 600) en una matriz de sílice, comparando dos procedimientos: la síntesis química mediante un método sol-gel y la impregnación directa en un material poroso. Los materiales obtenidos, denominados PSPCM (Phase-Stabilized Phase Change Materials), se caracterizaron mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y medición de conductividad térmica. Posteriormente, se incorporaron en yeso con el fin de evaluar su capacidad de absorción de calor como material de recubrimiento. Los resultados muestran que el método sol-gel permite una mejor encapsulación del PEG 600 en la red de sílice, ofreciendo una mayor estabilidad térmica y un mejor desempeño en la absorción de calor, lo que lo posiciona como una alternativa prometedora para el desarrollo de materiales de construcción energéticamente eficientes.

Palabras clave: Eficiencia energética, PCM, PSPCM, proceso sol-gel

1. INTRODUCCIÓN.

Ante el incremento de las olas de calor derivadas del cambio climático, la inestabilidad geopolítica y el elevado consumo energético asociado a los edificios, responsables de aproximadamente el 40% del consumo total de energía en la Unión Europea [1], la descarbonización del sector de la construcción se presenta como una necesidad urgente para mejorar la eficiencia energética y mitigar los efectos del calentamiento global. En este contexto, los materiales de cambio de fase (PCM) constituyen una alternativa eficaz para optimizar el rendimiento energético y el confort térmico de las edificaciones, gracias a su capacidad de almacenar y liberar energía durante los procesos de fusión y solidificación. Estos materiales absorben calor al pasar del estado sólido al líquido y lo liberan al retornar al estado sólido [2]. Para evitar fugas en su fase líquida, los PCM se encapsulan en matrices poliméricas o materiales porosos, generando los denominados phase-stabilized phase change materials (PSPCM) [3]. Entre los PCM, se encuentra el polietilenglicol (PEG) que, destaca por ser un polímero ecosostenible con propiedades sobresalientes, como su elevado calor latente, amplio rango de temperatura de transición, estabilidades térmica y química, no toxicidad, baja presión de vapor, ausencia de sobreenfriamiento y estabilidad volumétrica a largo plazo. Por su parte, el dióxido de silicio puede ser utilizado como matriz, ya que ofrece una estructura altamente porosa y estable, tanto térmica como químicamente, lo que lo convierte en un recubrimiento ideal para la encapsulación del PEG. [4].

Uno de los métodos más empleados para la encapsulación de materiales PCM es la síntesis química mediante el proceso sol-gel. Este procedimiento se basa en dos etapas de reacción: la hidrólisis y la condensación. Durante el proceso, se forma una suspensión coloidal denominada sol, compuesta por partículas finamente dispersas, que posteriormente sufre una polimerización progresiva hasta originar una red inorgánica tridimensional. El resultado es la formación de un gel, es decir, una fase continua líquida en la que se encuentra inmersa la estructura sólida del material sintetizado. [5]. Como alternativa al método sol-gel, la encapsulación también puede realizarse mediante impregnación directa, un procedimiento más sencillo que consiste en incorporar el PEG directamente en los poros de una matriz silíceas. En este proceso, el material de cambio de fase penetra por capilaridad y fuerzas de adsorción en la estructura porosa del soporte, quedando físicamente retenido en su interior. Aunque este método no genera enlaces químicos entre el PEG y la matriz, permite obtener compuestos funcionales con capacidad de almacenamiento térmico adecuada y una preparación menos compleja [4].

La caracterización y evaluación del desempeño de los PSPCM se realiza mediante diferentes técnicas, entre las que destacan: la calorimetría diferencial de barrido (DSC), empleada para determinar las transiciones térmicas, la capacidad calorífica y la entalpía de fusión del material [6]; la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), utilizada para identificar los grupos funcionales y posibles interacciones químicas entre el PEG y la matriz de sílice [7]; y la medición de la conductividad térmica, que

permite evaluar la eficiencia en la transferencia de calor y determinar el comportamiento aislante o conductor del material [8].

El objetivo de esta investigación es evaluar la eficacia de dos métodos distintos de encapsulación del PEG 600 en una matriz de sílice: la síntesis química sol-gel y la impregnación directa, con el fin de desarrollar PSPCM e incorporarlos en yeso para mejorar la eficiencia energética en edificaciones.

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la obtención de los materiales PSPCM se empleó PEG 600 (Sigma-Aldrich) como material de cambio de fase y gel de sílice 60 (Merck) como matriz porosa para la impregnación. En la síntesis química se utilizó trimetoxisilano (GLYMO, Sigma-Aldrich) como precursor de sílice y amoníaco al 30% (Carl Roth) como catalizador, además de etanol y agua desionizada como disolventes.

Los procedimientos experimentales seguidos se ilustran en la Figura 1 y se detallan a continuación. En ambos métodos, la proporción en peso entre el PEG 600 y el SiO₂ fue del 50%. Una vez sintetizado el material PSPCM, se incorporó al yeso en una proporción del 10%. A continuación, se prepararon probetas con esta mezcla para evaluar su desempeño térmico, específicamente su capacidad de absorción de calor.

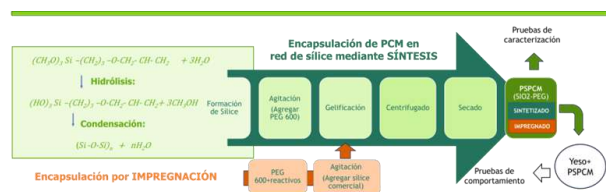


Figura 1. Procedimiento experimental para la obtención de materiales PSPCM.

2.1 Método de síntesis.

Para aplicar el método sol-gel, se colocó en un matraz el trimetoxisilano disuelto en etanol, y se añadieron cantidades estequiométricas de agua y amoníaco bajo agitación magnética, favoreciendo la hidrólisis y posterior condensación de los grupos silanoles. Después se incorporó lentamente el polietilenglicol PEG600 y se mantuvo bajo agitación continua durante 24 h. El proceso de gelificación se llevó a cabo a temperatura ambiente, dejando reposar la mezcla durante 24 h. Posteriormente, el gel formado fue sometido a centrifugado para eliminar el exceso de reactivos y disolventes. Finalmente, el material se secó en horno a una temperatura de 60 °C durante 48 h hasta obtener el material PSPCM.

2.2 Método de impregnación.

Como técnica comparativa, se empleó el método de encapsulación por impregnación directa, utilizando gel de sílice 60 como soporte y etanol como disolvente. El PEG 600 se incorporó directamente al sistema mediante

agitación mecánica, favoreciendo su distribución homogénea en la matriz porosa. Al igual que en el procedimiento sol-gel, la mezcla se mantuvo durante 24 horas a temperatura ambiente, y posteriormente se sometió a un proceso de centrifugación para eliminar los reactivos y disolventes residuales. Finalmente, el material fue secado en horno a 80 °C durante 24 horas, obteniéndose el PSPCM en estado sólido.

2.3 Elaboración de probetas de yeso.

Con los PSPCM obtenidos mediante síntesis e impregnación, se elaboraron tres probetas de yeso blanco utilizando moldes de silicona. En la tabla 1 se muestra la composición de las probetas elaboradas.

Tabla 1. Composición de las probetas de yeso, sin y con PSPCM incorporados.

PROPORCIONES EN LA COMPOSICIÓN DE PROBETAS DE YESO BLANCO					
YESO PURO		YESO CON PSPCM SINTETIZADO		YESO CON PSPCM IMPREGNADO	
MATERIAL	PESO (g)	MATERIAL	PESO (g)	MATERIAL	PESO (g)
YESO (60%)	42,6	YESO (60%)	40	YESO (60%)	40
AGUA (40%)	28,4	AGUA (40%)	27	AGUA (40%)	27
---	---	PSPCM SINTETIZADO (10%)	4	PSPCM IMPREGNADO (10%)	4
PESO TOTAL (g)	71	PESO TOTAL (g)	71	PESO TOTAL (g)	71

3. RESULTADOS.

3.1 Apariencia física.

Los PSPCM obtenidos mediante síntesis muestran un tamaño de grano mayor que el obtenido mediante impregnación directa, el cual se observa como un polvo más fino (Figura 2).

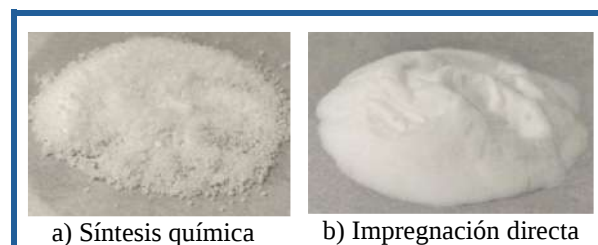


Figura 2. Apariencia física de los PSPCM obtenidos mediante los dos métodos.

3.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Las curvas DSC (Figura 3), muestran que el PEG 600 puro y los materiales PSPCM formados mediante síntesis química e impregnación directa presentan una transición endotérmica en torno a 21 °C, atribuida al proceso de fusión del PEG 600. El máximo de la señal endotérmica se observa aproximadamente a 22 °C, valor coherente con la temperatura de fusión característica de este polímero. Respecto a la amplitud del pico endotérmico, los PSPCM presentan una transición endotérmica más amplia, extendiéndose hasta aproximadamente 118 °C. Este incremento y ensanchamiento del evento térmico sugieren la presencia de interacciones químicas entre el PEG y los grupos silano, así como posibles procesos de

evaporación de solventes y condensación de silanoles. El valor de C_p refleja la capacidad del material para almacenar energía térmica. El PEG 600 puro muestra el mayor C_p (2,822 J/g·°C), lo que indica una transición completa y libre del material. En cambio, cuando el PEG se encuentra encapsulado en sílice, el C_p disminuye notablemente, a 1,322 J/g·°C en el material sintetizado por sol-gel y a 1,106 J/g·°C en el impregnado, evidenciando que una parte significativa del PEG queda confinada o interactúa con la matriz de SiO_2 , limitando su movilidad y reduciendo la cantidad de material que participa en la fusión. En conjunto, los resultados confirman que el confinamiento dentro de la matriz de sílice reduce la capacidad calorífica y, por tanto, la fracción de PEG con comportamiento térmico libre.

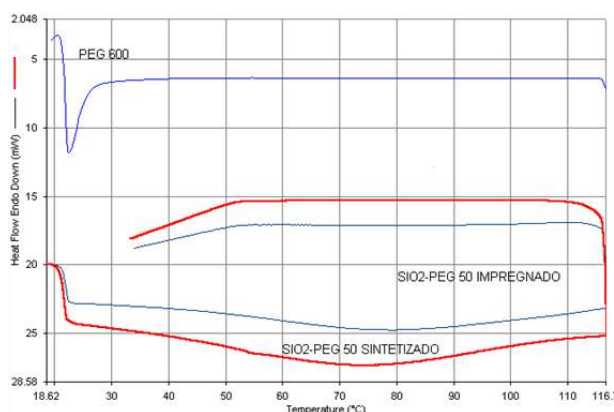


Figura 3. Transiciones térmicas del PEG 600, y de los PSPCM obtenidos mediante síntesis química e impregnación.

Tabla 2. Valores de C_p obtenidos en los PSPCM en comparación con el del PEG 600.

Material	C_p (J/g °C)
PEG 600	2,822
SiO_2 -PEG600 impregnado	1,106
SiO_2 -PEG600 sintetizado	1,322

3.3 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).

En la Figura 4 se muestran los correspondientes espectros de FTIR. Tomando como referencia el espectro del PEG 600 puro y de acuerdo con los resultados descritos en la literatura [7], se identificaron las bandas características en $\sim 3450 \text{ cm}^{-1}$, correspondientes a la vibración de los grupos hidroxilo ($-\text{OH}$), y en $\sim 2880\text{--}2850 \text{ cm}^{-1}$, asociadas a las vibraciones de los enlaces C-H de los grupos metileno ($-\text{CH}_2-$). En los materiales PSPCM se mantienen las bandas características del PEG600, aunque la notable mayor intensidad de estas señales en el material sintetizado evidencia una mejor dispersión molecular del polímero y sugiere la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos silanol (Si-OH) de la matriz y los terminales $-\text{OH}$ del PEG. Adicionalmente, la

aparición de una banda en $\sim 950 \text{ cm}^{-1}$, atribuible a enlaces Si-O-C , respalda la formación de uniones covalentes en el compuesto sintetizado. En conjunto, estos hallazgos demuestran que la ruta sol-gel favorece una integración química y estructural significativamente mayor del PEG en la red de sílice, mientras que la impregnación da lugar a una retención superficial y una interacción más débil del polímero.

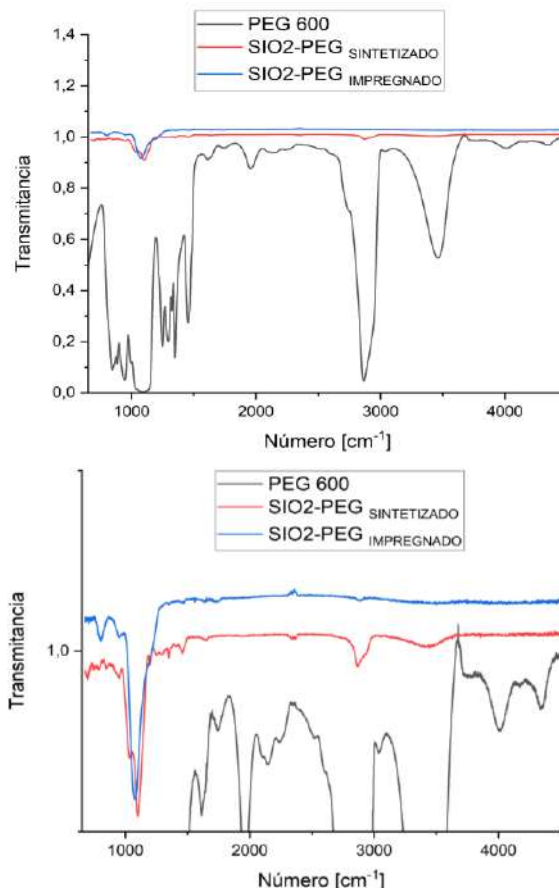


Figura 4. Gráficas de espectrometría FTIR comparando los PSPCM obtenidos.

3.4 Conductividad térmica.

En la tabla 3 se muestran los valores medidos para la conductividad térmica tanto de los componentes puros como de sus mezclas. Los resultados muestran que la incorporación del PSPCM reduce la conductividad térmica del yeso puro, mejorando su capacidad aislante. El compuesto yeso + SiO_2 -PEG (50:50) sintetizado presenta la menor conductividad entre los materiales con yeso (0.459 W/m·K), lo que indica un mejor aislamiento respecto al yeso puro (0.492 W/m·K). En general, el SiO_2 -PEG sintetizado es el material más aislante del conjunto (0.047 W/m·K), mientras que el PEG 600 es el más conductor (0.175 W/m·K). Estos resultados confirman que la combinación de sílice y PEG puede modular eficazmente la conductividad térmica, permitiendo ajustar las propiedades térmicas del yeso según la aplicación deseada.

Sin embargo, para optimizar la transferencia térmica sin comprometer la estabilidad del sistema, sería recomendable incorporar aditivos de alta conductividad,

como nanoplaquetas de grafeno, que actúen como puentes térmicos entre el PCM y la matriz. Este enfoque permitiría reducir la resistencia térmica y mejorar la eficiencia en aplicaciones de almacenamiento energético.

Tabla 3. Valores de conductividad térmica (W/mK).

Material	W/m·K
SiO ₂ -PEG (50:50) SINTETIZADO	0,047
SiO ₂ -PEG (50:50) IMPREGNADO	0,058
PEG 600	0,175
SiO ₂ COMERCIAL	0,054
SiO ₂ SINTETIZADO	0,059
YESO PURO	0,492
YESO+SiO ₂ -PEG (50:50) SINTETIZADO	0,459
YESO+SiO ₂ -PEG (50:50) IMPREGNADO	0,481

3.5 Comportamiento en la absorción de calor.

Las curvas de evolución térmica (Figura 5) de las probetas de yeso evidencian que la incorporación de PSPCM reduce la velocidad de calentamiento y aumenta la temperatura máxima alcanzada en comparación con el yeso puro, lo que indica un aumento en la inercia térmica del material. Entre los métodos evaluados, el de síntesis química sol-gel muestra el mejor comportamiento amortiguador, seguido por el de impregnación directa, confirmando que la presencia del PCM encapsulado mejora la capacidad de almacenamiento térmico. Este efecto contribuye a estabilizar las variaciones de temperatura, aunque implica una menor conductividad global, lo que podría ralentizar la transferencia de calor en aplicaciones dinámicas.

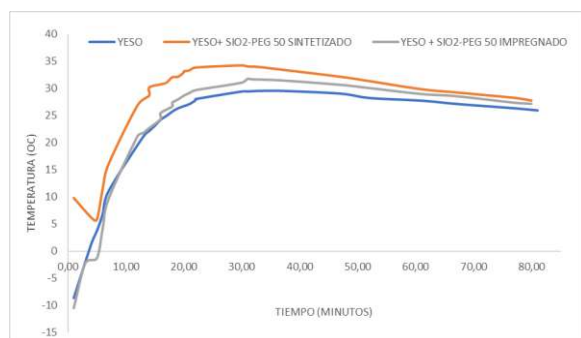


Figura 5. Curvas de variación de temperatura en las probetas de yeso puro y con PSPCM incorporados.

4. CONCLUSIONES.

En conclusión, el estudio demuestra que la incorporación de materiales de cambio de fase (PCM), en particular, el PEG 600 encapsulado en sílice (PSPCM), mejora la eficiencia energética de los materiales de construcción al incrementar su capacidad de almacenamiento térmico y reducir su conductividad. Entre los métodos evaluados, la síntesis química por sol-gel ofrece una encapsulación más efectiva, favoreciendo la formación de enlaces químicos entre el

PEG y la matriz de sílice. Esto se traduce en una mayor estabilidad térmica y mejor integración estructural. Así mismo, este método evidencia un mejor desempeño en la absorción de calor, evidenciando una mayor inercia térmica en las probetas de yeso. Los resultados confirman que, aunque ambos métodos son viables para obtener compuestos híbridos con propiedades térmicas ajustables, el método sol-gel permite una encapsulación más efectiva del PEG 600 dentro de la matriz de sílice. En consecuencia, este enfoque se perfila como una alternativa prometedora para el desarrollo de materiales de construcción con un desempeño energético optimizado.

5. AGRADECIMIENTOS.

A la Escuela de Arquitectura, Ingeniería Ciencia y Computación de la UEM, por financiar la inscripción al Congreso Materdivulga 2025.

6.- REFERENCIAS

- [1] Council of the European. 'Fit for 55': Council and Parliament reach deal on proposal to revise energy performance of buildings directive [press release]. 2023. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/12/07/fit-for-55-council-and-parliament-reach-deal-on-proposal-to-revise-energy-performance-of-buildings-directive/pdf/>
- [2] Kalaiselvam S, Parameshwaran R. Chapter 5: Latent Thermal energy Storage. In Thermal energy storage technologies for sustainability: systems design, assessment, and applications, 2014, pp. 83–126.
- [3] Nasr Y, El Zakhem H, Hamami AEA, El Bachawati M, Belarbi R. Comprehensive Review of Innovative Materials for Sustainable Buildings' Energy Performance. Energies, 2023, 16, 7440.
- [4] Mitran R-A, Ioniță S, Lincu D, Berger D, Matei C. A Review of Composite Phase Change Materials Based on Porous Silica Nanomaterials for Latent Heat Storage Applications. Molecules, 2021, 26, 241.
- [5] Ibrahim S., Ibrahim H. Preparation and study properties of xerogel silica using sol-gel method. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 2013, 2, 111.
- [6] Hatakeyama T., Quinn F.X. Thermal analysis. Fundamentals and Applications to Polymer Science. Wiley.1995.
- [7] Wade L.G. Química Orgánica. Pearson Education. 2011.
- [8] Bourbia S., Kazeoui H., Belarbi R., A review on recent research on bio-based building materials and their applications. Materials for Renewable and Sustainable Energy. 2023,12, 117.

DIVULGAR MEDIANTE ARTE, CIENCIA Y TECNOLOGÍA. LUCES, REALIDAD AUMENTADA Y ¡ACCIÓN!

J. Osés¹, J. Moriones¹, M. Redín¹, P. Amézqueta¹, J. Fernández Palacio¹, Ainhoa Méndez², María Napal²

¹Asociación de la Industria Navarra, Carretera Pamplona 1, 31191, Cordovilla, Navarra, joses@ain.es

²Departamento de Ciencias, UPNA, Campus Arrosadia s/n 31001 Pamplona, Navarra. Grupo KIMUA

Resumen: el proyecto VISUAL-TECH 4.0 explora la creación de contenidos audiovisuales de alto impacto en el espectador mediante la integración de arte, ciencia y tecnologías digitales. Tomando como punto de partida las imágenes microscópicas de materiales creadas en laboratorio en el proyecto artístico *Hidden Reflections*, se desarrolló una exposición científico-artística con carácter didáctico y divulgativo basada en la combinación de micrografías, instalaciones manipulativas y contenidos de realidad aumentada y animación 3D. Esta aproximación permite acercar al público general conceptos relacionados con el comportamiento de la luz, la interacción luz-materia y la visión, tradicionalmente difíciles de comunicar por su carácter abstracto o por su dependencia de escalas no accesibles a la observación directa. La propuesta se materializó en la exposición *Luces, Realidad Aumentada y ¡Acción!*, celebrada en el Planetario de Pamplona en 2024, que recibió cerca de 4.000 visitantes y que, gracias al uso de Realidad Aumentada, contó con un enfoque multinivel adaptado a distintos perfiles y niveles formativos. La realización de encuestas a los visitantes muestra que la combinación de arte, tecnología y contenidos científicos mejora la comprensión de los conceptos tratados y refuerza el interés del público por la ciencia de materiales, evidenciando el potencial de los enfoques arte-ciencia-tecnología como herramientas de divulgación científica.

Palabras clave: divulgación científica; ciencia de materiales; arte y ciencia; microscopía; óptica; realidad aumentada; educación STEAM; exposiciones interactivas.

1. INTRODUCCIÓN.

La transmisión de conocimiento científico a públicos no especializados constituye uno de los principales retos de la divulgación, especialmente en disciplinas donde los fenómenos de interés se desarrollan a escalas no accesibles a la observación directa o presentan un elevado grado de abstracción conceptual. En la ciencia de materiales, conceptos relacionados con la microestructura, la interacción luz-materia o los mecanismos físicos responsables del color y la visión suelen resultar difíciles de comprender fuera de un contexto académico, lo que limita su comunicación a la sociedad [1].

A esta dificultad se suma la necesidad de adaptar los contenidos divulgativos a públicos muy diversos, con distintos niveles de formación, intereses y capacidades de abstracción [2]. Los formatos tradicionales, basados fundamentalmente en texto o imágenes estáticas, presentan limitaciones a la hora de explicar procesos dinámicos, relaciones espaciales complejas o fenómenos que requieren una interpretación visual guiada. En este contexto, resulta necesario explorar nuevos enfoques que permitan comunicar información técnica de forma comprensible sin renunciar al rigor científico [3].

La ciencia de materiales ofrece un terreno especialmente propicio para este tipo de estrategias, ya que muchos de sus fenómenos fundamentales pueden representarse visualmente a través de imágenes, patrones y estructuras generadas en el laboratorio [4,5]. La combinación de estas representaciones con enfoques artísticos permite convertir lo invisible en visible, facilitando un primer acercamiento perceptivo que actúa

como punto de partida para la comprensión conceptual [6]. De este modo, el arte no se plantea como un elemento decorativo, sino como un recurso comunicativo capaz de atraer la atención y estructurar el discurso divulgativo.

En paralelo, el uso de tecnologías digitales amplía las posibilidades de mediación entre el contenido científico y el público. La realidad aumentada permite superponer información explicativa directamente sobre objetos físicos, favoreciendo una relación inmediata entre la observación y la interpretación del fenómeno [7]. Por su parte, la animación 3D posibilita la representación dinámica de procesos físicos y ópticos, ofreciendo explicaciones visuales que facilitan la comprensión de conceptos complejos de manera más eficaz que los recursos tradicionales, como libros o esquemas estáticos [8].

Desde esta perspectiva, la integración de arte, ciencia de materiales y tecnologías digitales se presenta como una estrategia con un alto potencial para la divulgación científica [9,10]. El presente trabajo se enmarca en esta línea y describe una propuesta expositiva diseñada para acercar conceptos fundamentales de la ciencia de materiales al público general mediante una combinación de imágenes microscópicas, instalaciones interactivas y contenidos audiovisuales, explorando su impacto como herramienta divulgativa.

2. PROCESO DIVULGATIVO.

2.1 Del laboratorio a la obra artística: el origen de *Hidden Reflections*.

El punto de partida del proyecto VISUAL-TECH 4.0 se encuentra en *Hidden Reflections* [11], una iniciativa científico-artística basada en la creación de imágenes microscópicas de materiales desarrollados en laboratorio (Fig. 1). Estas obras surgen a partir de procesos habituales en la investigación en ciencia de materiales, como la modificación de superficies, la deposición de capas delgadas o la generación controlada de estructuras micro y nanométricas, observadas posteriormente mediante técnicas de microscopía óptica de luz reflejada, tanto en campo claro como campo oscuro.

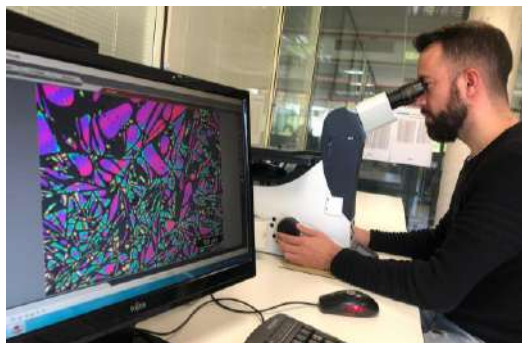


Figura 1. Proceso de obtención de imágenes de *Hidden Reflections*.

La utilización de microscopía óptica permite revelar patrones, texturas y colores que no son perceptibles a escala macroscópica. En muchos casos, los efectos visuales observados están directamente relacionados con fenómenos físicos bien conocidos en ciencia de materiales y óptica, como la existencia de fases en los metales, la interferencia de la luz en capas delgadas o la diferencia entre las técnicas de campo claro y campo oscuro en microscopía. Sin embargo, en *Hidden Reflections* estos fenómenos no se presentan inicialmente desde un enfoque explicativo, sino como imágenes de fuerte impacto estético que captan la atención del observador.

Este carácter visual y artístico de las micrografías facilita un primer acercamiento emocional y perceptivo a la materia, convirtiéndose en una herramienta idónea para introducir posteriormente un discurso técnico al observador, el cual debe adaptarse a un tono divulgativo en la mayoría de los casos. La experiencia acumulada con *Hidden Reflections* evidenció que las imágenes generadas en el laboratorio no solo poseen valor científico, sino también un notable potencial comunicativo, capaz de despertar curiosidad e interés por los procesos que las originan. Esta constatación fue clave para plantear un proyecto de mayor alcance orientado explícitamente a la divulgación de la ciencia de materiales.

2.2. Del proyecto artístico a la divulgación estructurada: VISUAL-TECH 4.0.

A partir de la experiencia previa con *Hidden Reflections*, el proyecto VISUAL-TECH 4.0 [12] se concibe como una evolución natural hacia un enfoque divulgativo más amplio y estructurado. El objetivo principal fue crear contenido audiovisual de alto impacto, capaz de acercar la ciencia de materiales al

público general, mostrando que los laboratorios son espacios donde se generan no solo avances tecnológicos, sino también imágenes y fenómenos visualmente atractivos y comprensibles para la sociedad.

Para alcanzar este objetivo, se incorporaron tecnologías digitales como la animación 3D y la realidad aumentada (RA), con el fin de complementar el impacto estético de las obras y facilitar la comprensión de los conceptos científicos subyacentes (Fig. 2). A diferencia de las visitas guiadas tradicionales, este enfoque permite que el propio contenido digital actúe como mediador, ofreciendo explicaciones adaptadas a distintos niveles formativos y reduciendo la dependencia de la presencia constante de personal especializado.

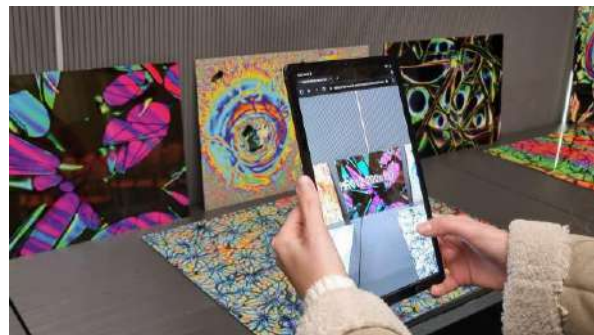


Figura 2. Pruebas para desarrollo de RA sobre cuadros de *Hidden Reflections*.

El desarrollo de VISUAL-TECH 4.0 se realizó de manera colaborativa entre el centro tecnológico AIN y el grupo de investigación KIMUA de la Universidad Pública de Navarra, especializado en didáctica de las ciencias experimentales. Esta colaboración permitió integrar el conocimiento técnico de la ciencia de materiales con metodologías educativas, mejorando el enfoque didáctico y divulgativo y dando lugar a contenidos adaptados a educación primaria, secundaria, bachillerato y público general, disponibles tanto en castellano como en euskera.

2.3. La exposición “Luces, Realidad Aumentada y ¡Acción!” como herramienta divulgativa.

La materialización del proyecto VISUAL-TECH 4.0 tuvo lugar en la exposición *Luces, Realidad Aumentada y ¡Acción!*, celebrada en el Planetario de Pamplona entre marzo y mayo de 2024 [13]. La exposición combinó 30 obras basadas en micrografías de materiales con 8 instalaciones manipulativas, integrando contenidos de realidad aumentada en 10 obras y 5 instalaciones, además de recursos audiovisuales adicionales.

El diseño expositivo se planteó como un recorrido progresivo en el que se alterna la observación directa de las obras con la interacción a través de dispositivos digitales. La realidad aumentada se superpone de manera selectiva sobre determinadas piezas, permitiendo mantener una experiencia expositiva equilibrada entre la contemplación tradicional y la exploración tecnológica (Fig. 3). Este planteamiento evita la saturación digital y refuerza el papel de la obra artística como elemento central.

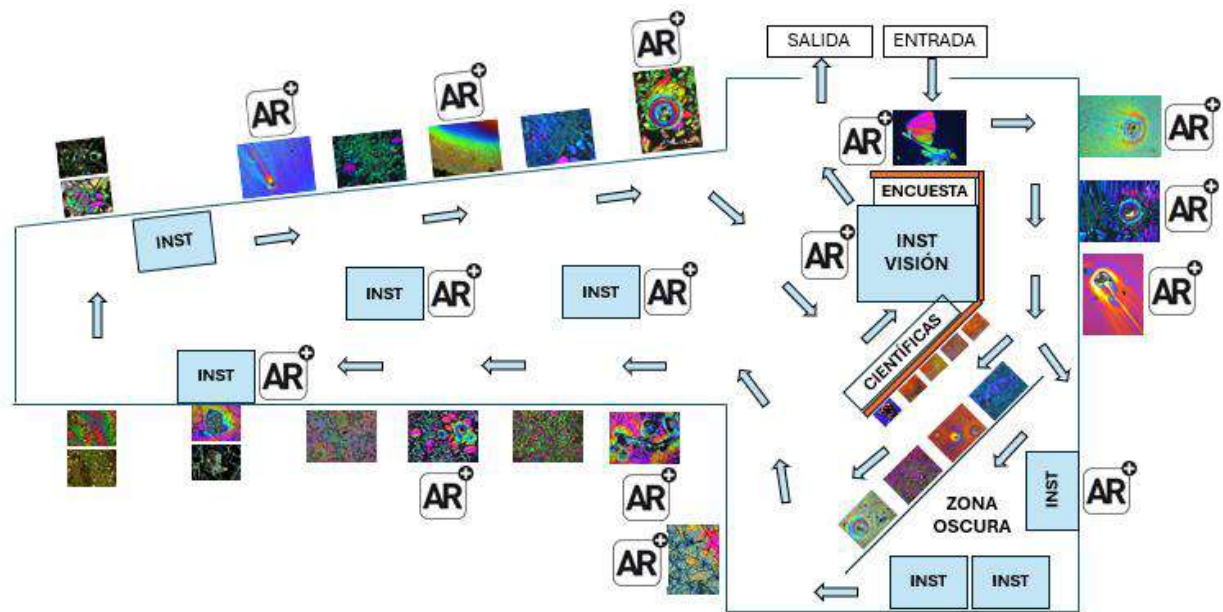


Figura 3. Plano de la exposición, mostrando el recorrido planteado, las obras e instalaciones y el uso de RA.

A través de las obras y las instalaciones se abordan, de forma implícita y explícita según el nivel del contenido, diversos conceptos relacionados con el comportamiento de la luz y su interacción con la materia. Algunos de los conceptos descritos son la propagación lineal de la luz, la descomposición de la luz blanca en el espectro visible, la relación entre longitud de onda y color, la interacción entre materia y luz (transparencia, opacidad, color), los fenómenos de reflexión e interferencia o el efecto Rayleigh, así como aspectos básicos de la visión humana (el ojo humano como cámara, defectos en la visión y daltonismo) y animal (cómo ven los diferentes animales y tipos de ojos en el reino animal). Estos contenidos se presentan mediante recursos visuales y narrativas accesibles, evitando un enfoque excesivamente formal y priorizando la comprensión conceptual.

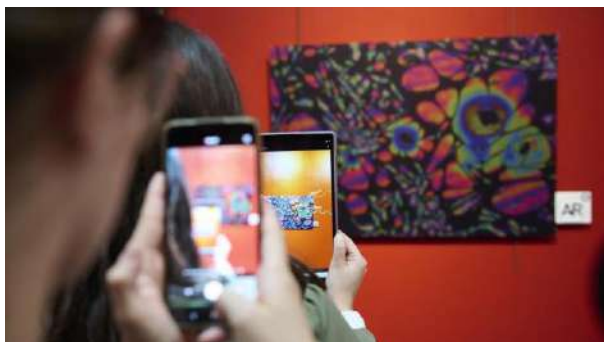


Figura 4. Asistentes de la exposición interactuando con la obra que explica la relación entre longitud de onda y color.

2.4. Mediación, público e impacto de la exposición.

Uno de los aspectos clave de la exposición fue su carácter multinivel. Los contenidos en realidad aumentada se diseñaron para ofrecer explicaciones adaptadas a cuatro niveles distintos —educación

primaria, secundaria, bachillerato y público general— lo que permitió que la exposición fuera fácilmente accesible y comprensible para un público amplio y heterogéneo. La profundidad técnica de los contenidos o la dificultad de estos se presentó de manera distinta a los distintos grupos de público, permitiendo experiencias paralelas para familias o grupos con heterogeneidad en su nivel formativo. Además, esta adaptabilidad facilitó la realización de visitas guiadas específicas para centros educativos y visitas orientadas al público general, con discursos por parte del personal de AIN y UPNA ajustados a los intereses y conocimientos previos de cada grupo. Se diseñó una encuesta para que los visitantes, tras finalizar la visita, puntuaran los procesos de aprendizaje y utilidad de las herramientas digitales y la combinación arte/ciencia/tecnología, además de que añadieran comentarios sobre la exposición.



Figura 5. Charla inicial de una de las visitas guiadas realizadas a público general.

Durante el periodo expositivo se registró una asistencia cercana a los 4.000 visitantes, incluyendo grupos procedentes de 17 centros educativos de distintos niveles formativos, así como público general. Se realizaron más de 20 visitas guiadas y se recogieron 412 encuestas por parte de los visitantes, de las cuales 43

eran de docentes, 256 de alumnos y 113 de público general (Fig. 5). Los resultados de las encuestas reflejan una percepción positiva tanto del componente estético de la exposición como del valor didáctico de los contenidos, destacándose la utilidad de la realidad aumentada y las animaciones 3D desarrolladas para mejorar la comprensión de los conceptos tratados.

Las observaciones cuantitativas y cualitativas recogidas durante las visitas indican que la combinación de arte, ciencia y tecnología favorece la atención sostenida del público y facilita la asimilación de fenómenos complejos relacionados con la óptica y la ciencia de materiales. Asimismo, las respuestas de las encuestas provenientes de alumnado de primaria y secundaria mostraron que la exposición posee potencial para despertar el interés por las disciplinas científico-tecnológicas, especialmente entre el público infantil y juvenil, contribuyendo a la promoción de vocaciones STEM.

3. CONCLUSIONES.

La experiencia desarrollada en el marco del proyecto VISUAL-TECH 4.0 pone de manifiesto el valor de los enfoques híbridos entre arte, ciencia y tecnología para la divulgación de la ciencia de materiales. La utilización de imágenes microscópicas de materiales como punto de partida artístico permite acercar al público general fenómenos que, de otro modo, resultarían difíciles de comunicar debido a su escala o complejidad conceptual. La incorporación de tecnologías digitales, como la realidad aumentada y la animación 3D, amplifica este efecto al facilitar la contextualización visual y la adaptación de los contenidos a distintos niveles formativos.

La exposición Luces, Realidad Aumentada y ¡Acción! demostró que es posible diseñar un espacio expositivo y divulgativo multinivel capaz de atender a públicos diversos, desde estudiantes de educación primaria hasta visitantes adultos sin formación científica previa. Los datos de asistencia y las encuestas realizadas indican una mejora percibida en la comprensión de los conceptos tratados, así como una valoración positiva tanto del componente estético como del enfoque didáctico adoptado. Estos resultados confirman que la combinación de experiencias visuales atractivas y mediación tecnológica contribuye de manera efectiva a reforzar el aprendizaje y el interés por la ciencia de materiales.

Desde una perspectiva más amplia, este tipo de iniciativas evidencia la necesidad de reforzar la divulgación en el ámbito de los materiales, un campo con un alto potencial para generar contenidos visuales y narrativas accesibles a la sociedad. La experiencia presentada confirma que los laboratorios de ciencia de materiales no solo son espacios de generación de conocimiento técnico, sino también fuentes de imágenes, procesos y relatos capaces de conectar con el público y fomentar vocaciones científicas. En este sentido, la integración de estrategias artísticas y divulgativas se presenta como una vía prometedora para acercar la ciencia de materiales a la ciudadanía.

4. AGRADECIMIENTOS.

Los autores quieren agradecer al Gobierno de Navarra por la financiación para el proyecto VISUAL-TECH 4.0 - Ayudas a Agentes del SINAI para la realización de proyectos de I+D colaborativos PC173-174, a NICDO por la cesión del espacio expositivo, y al comité organizador del congreso MATERDIVULGA por generar espacios para mostrar la divulgación en ciencia de materiales.

5. REFERENCIAS.

- [1] Bucchi, M., Trench, B., Routledge Handbook of Public Communication of Science and Technology, 2nd ed., Routledge, London, 2021.
- [2] Falk, J. H., Dierking, L. D., The Museum Experience Revisited, Routledge, London, 2013.
- [3] Salzmann, S., Walter, C., Kaspar, K., "A new dimension of simplified science communication: the easiness effect of science popularization in animated video abstracts", *Frontiers in Psychology*, Vol 16, 2021.
- [4] Qin, R., "Visual Computation of Material Microstructure and Deformation", *Materials*, Vol 17, 2024.
- [5] Santos, S., "Crossing borders: the path of photomicrography towards artistic recognition", *MIDAS – Museus e Estudos Interdisciplinares*, Vol. 5, 2015.
- [6] Ibáñez, M. B., Delgado-Kloos, C., "Augmented reality for STEM learning: A systematic review", *Computers & Education*, Vol. 123, 2018, pp. 109–123.
- [7] Fernández García, F., Herrera Arenas, D., Sevilla Álvarez, J., "El paisaje a través de la representación gráfica: la Realidad Aumentada como herramienta de interpretación", *Investigaciones*, Vol 81, 2024.
- [8] Teplá, M., Teplý, P., Šmejkal, P., "Influence of 3D models and animations on students in natural subjects", *International Journal of STEM Education*, Vol 9, 2022.
- [9] Llumiquinga Suntaxi, L. K., Gavilanes Guzman, G. I., "Integración de las tecnologías digitales en la enseñanza del arte una aproximación al arte digital como lenguaje pedagógico emergente. Imperium Académico", *Multidisciplinary Journal*, Vol 2, 2025.
- [10] Sheng, L., "Integration of Science and Art: Take the Micro Art Design Transformation of Material Structure Diagram Through the Combination of Material Science and Art Design as an Example", *Research Inspiration*, Vol 8, 2022.
- [11] www.hidden-reflections.com
- [12] <https://www.aditech.com/es/proyectos-colaborativos/visual-tech-4-0/>
- [13] <https://www.noticiasdenavarra.com/cultura/2024/03/19/luces-realidad-aumentada-accion-8020185.html>

ATRÉVETE A ENCONTRAR: MATERIALES EN VUELO

A. Sánchez Romero¹, A. Romero Gutiérrez¹, D. Sierra Palacio², A. Cañadilla Sánchez¹

¹ Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial (EIIA), Instituto de Investigación Aplicada a la Industria Aeronáutica (INAIA), Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), 45071 Toledo, España.

² Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real (ETSII), Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), 13071 Ciudad Real, España.

Abraham.Sanchez@uclm.es, Ana.RGutierrez@uclm.es, Dora.Sierra@uclm.es, Antonio.Canadilla@uclm.es

Resumen: La ciencia de materiales y la ingeniería aeronáutica suelen percibirse como disciplinas complejas y alejadas de la sociedad, especialmente debido a la dificultad de acceso e interacción con tecnologías aeroespaciales reales. En este contexto, se desarrolló una actividad divulgativa basada en una dinámica participativa de identificación de materiales aeronáuticos sobre un avión real con el objetivo de acercar estos ámbitos al público general y fomentar vocaciones STEM. La experiencia consiste en asociar distintos materiales empleados en la industria aeronáutica con componentes específicos de la aeronave mediante tarjetas distribuidas por equipos de trabajo. A través de esta dinámica, los participantes reflexionan sobre las propiedades físicas, mecánicas y funcionales de los materiales, relacionándolas con las condiciones reales de operación de cada componente del avión y favoreciendo un aprendizaje activo, visual y atractivo.

Palabras clave: Divulgación Científica, Ciencia de Materiales, Aprendizaje Activo, Materiales Aeronáuticos, Gamificación.

1. INTRODUCCIÓN.

La ciencia y la tecnología han estado tradicionalmente percibidas como disciplinas complejas y alejadas de la vida cotidiana. A lo largo de la historia, la separación entre ciencias y letras ha contribuido a generar la sensación de que el conocimiento científico pertenece únicamente a ámbitos especializados y difíciles de comprender para gran parte de la sociedad. Como consecuencia, muchas personas observan la ciencia como algo abstracto, inaccesible y desconectado de su realidad diaria.

En este contexto, la aviación constituye uno de los ejemplos tecnológicos que mayor fascinación despierta en la sociedad. La capacidad del ser humano para desafiar las leyes de la física y lograr el vuelo, primero atravesando los cielos y posteriormente alcanzando incluso el espacio, convierte a las aeronaves en elementos que despiertan admiración y curiosidad. Esta misma complejidad tecnológica provoca que frecuentemente surjan preguntas como: ¿cómo vuelan los aviones?, ¿cómo funcionan sus motores?, ¿de qué están hechos?, ¿es realmente seguro viajar en avión?, o incluso cuestiones derivadas de la desinformación y los mitos presentes en los medios de comunicación. Muchas de estas dudas aparecen porque la mayoría de las personas nunca ha tenido la oportunidad de observar un avión de cerca ni de interactuar físicamente con él.

Habitualmente, las aeronaves son percibidas como enormes estructuras metálicas difíciles de comprender, entre otras razones, por la enorme cantidad de componentes, sistemas y materiales avanzados que permiten su funcionamiento seguro y eficiente. Precisamente por ello, las actividades divulgativas desarrolladas en torno a aeronaves reales pueden tener un enorme potencial educativo y divulgativo, ya que

permiten adaptar un concepto abstracto en una experiencia tangible y cercana.

Por otro lado, la ciencia e ingeniería de materiales desempeña un papel fundamental en el desarrollo de la ingeniería aeronáutica moderna. La necesidad de fabricar aeronaves cada vez más ligeras, eficientes y seguras ha impulsado el empleo de materiales con propiedades muy específicas. Estos materiales permiten mejorar aspectos clave como la resistencia mecánica, el comportamiento frente a la fatiga, la resistencia a la corrosión o la reducción de peso, factores esenciales en el sector aeroespacial.

Con el objetivo de acercar estos conceptos al público general y fomentar el interés por las disciplinas STEM, se diseñó la actividad *Atrévete a encontrar: materiales en vuelo*, una propuesta divulgativa basada en la interacción directa con un avión Dassault Falcon 20 situado en el Campus Tecnológico Fábrica de Armas de Toledo de la Universidad de Castilla-La Mancha. La actividad plantea una dinámica participativa en la que los asistentes deben identificar los materiales presentes en diferentes componentes de la aeronave mediante un juego de asociación y exploración sobre el propio avión.

La propuesta busca combinar divulgación científica y aprendizaje experiencial, utilizando la aeronave como recurso didáctico para introducir conceptos relacionados con la ingeniería de materiales, el diseño estructural y las aplicaciones tecnológicas en aviación. A través de la observación directa y la interacción con distintos elementos del avión, los participantes pueden relacionar de forma intuitiva las propiedades de los materiales con las funciones que desempeñan dentro de la aeronave. Además, el carácter interactivo de la actividad favorece la participación activa de los asistentes y genera un entorno más cercano y accesible para la comprensión de conceptos científico-técnicos.

2. PÚBLICO OBJETIVO.

La actividad ha sido concebida como una propuesta divulgativa adaptable a públicos muy diversos, permitiendo modificar tanto la complejidad técnica como la dinámica de participación en función de la edad y formación de los asistentes. Esta flexibilidad constituye uno de los principales puntos fuertes de la actividad, ya que permite emplearla tanto en contextos educativos especializados como en actividades de divulgación científica dirigidas al público general.

En edades tempranas, como educación infantil y primaria, la actividad se plantea principalmente como una primera aproximación a la ciencia y la tecnología mediante el juego y la observación directa (**Figura 1**). En estos casos, el componente visual y experiencial adquiere una gran importancia, ya que muchos participantes ven un avión real por primera vez desde una perspectiva cercana. El simple hecho de caminar alrededor de la aeronave, identificar visualmente diferentes partes y manipular tarjetas físicas favorece la curiosidad y la participación de los más pequeños. Para estos niveles educativos, los materiales incluidos en la dinámica son sencillos y fácilmente reconocibles, empleándose conceptos como plástico, metal, goma o pintura. El objetivo principal no es alcanzar una comprensión técnica profunda, sino comenzar a relacionar materiales cotidianos con objetos reales y comprender que cada parte del avión necesita materiales diferentes en función de su utilidad.



Figura 1. Desarrollo de la actividad divulgativa con niños en los alrededores de la aeronave.

A medida que aumenta el nivel formativo de los participantes, la actividad puede incorporar materiales y conceptos progresivamente más complejos. En estudiantes de secundaria y bachillerato, por ejemplo, ya es posible introducir aleaciones de aluminio, titanio, aceros inoxidables, materiales compuestos o superaleaciones, relacionándolos con propiedades como ligereza, resistencia mecánica, conductividad eléctrica o estabilidad a altas temperaturas. De esta manera, los participantes comienzan a comprender que los materiales se seleccionan en función de sus propiedades físicas y mecánicas, que contribuyen al funcionamiento seguro y eficiente de la aeronave.

En el ámbito universitario, especialmente en titulaciones relacionadas con la ingeniería, la actividad permite profundizar en conceptos de selección de materiales,

comportamiento mecánico, diseño estructural y aplicaciones aeroespaciales. La dinámica favorece además el razonamiento técnico y el trabajo colaborativo, ya que los participantes deben justificar sus decisiones a partir de las condiciones reales de servicio de cada componente aeronáutico.

La propuesta también ha demostrado una elevada capacidad de adaptación a distintos formatos de divulgación científica. La actividad fue presentada durante el *Congreso Nacional de Divulgación en Materiales Materdivulga 2025*, mostrando una elevada participación e interés por parte de asistentes de perfiles muy diversos y alto nivel de conocimiento en el área de la ciencia e ingeniería de materiales. Asimismo, puede integrarse en jornadas de puertas abiertas, visitas de colegios e institutos, actividades de ciencia en familia, jornadas de la semana de la ciencia, ferias científicas o eventos de divulgación tecnológica organizados en el entorno universitario.

En este sentido, la actividad también puede formar parte de iniciativas impulsadas por proyectos y programas de divulgación científica como *Materland*, *los materiales que nos rodean* y *Mujeres Ingeniosas, ingenieras del futuro*. Asimismo, podría integrarse en otras actividades coordinadas por la Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo (EIIA) y el Instituto de Investigación Aplicada a la Industria Aeronáutica (INAIA). El empleo de un entorno tan singular como el Campus Tecnológico Fábrica de Armas de Toledo y de una aeronave real como recurso docente, permite generar una experiencia altamente inmersiva, acercando la ciencia de materiales y la ingeniería aeronáutica a la sociedad de una manera directa, accesible y participativa.

3. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD.

La actividad se desarrolla alrededor del avión Dassault Falcon 20 mostrado en la **Figura 2**, cedido por el Ejército del Aire a la Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo, y empleado como elemento central de la experiencia divulgativa. El objetivo principal consiste en que los participantes identifiquen y relacionen diferentes materiales con componentes de la aeronave, comprendiendo de forma intuitiva por qué cada material es utilizado en una zona concreta del avión.



Figura 2. Realización de la actividad con los asistentes al *Congreso Nacional de Divulgación en Materiales, Materdivulga 2025*.

Para el desarrollo de la dinámica, los participantes se organizan en varios grupos de trabajo. Cada equipo recibe un conjunto idéntico de tarjetas codificadas mediante colores, mostradas en la **Figura 3**, en las que se representan materiales empleados habitualmente en la industria aeronáutica. La complejidad de los materiales incluidos puede adaptarse en función del nivel educativo y del perfil de los asistentes, permitiendo ajustar la actividad desde niveles divulgativos básicos hasta contenidos más técnicos y especializados. Entre los materiales utilizados en la actividad se incluyen aluminio, titanio, cobre, caucho, silicona, poliuretano o superaleaciones base níquel, entre otros.

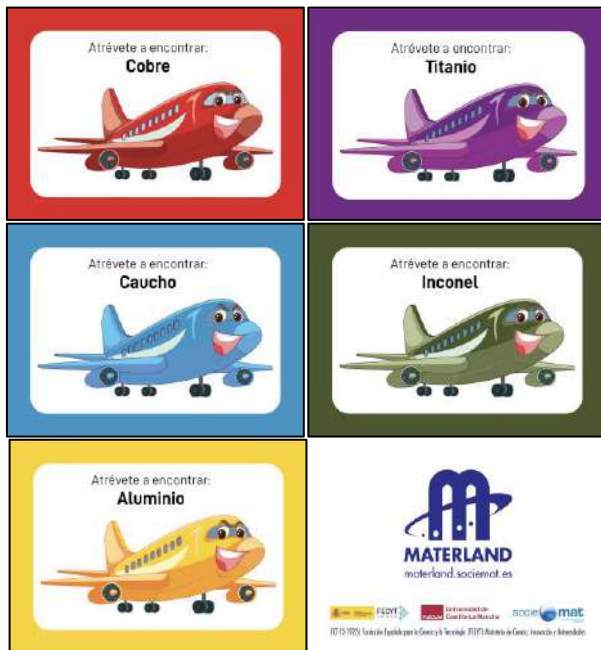


Figura 3. Ejemplos de tarjetas utilizadas para realización de la actividad en el ámbito universitario, en concreto en los grados de ingeniería aeroespacial, eléctrica o electrónica y automática impartidos en la EIIA-UCLM.

De forma simultánea, se distribuyen sobre diferentes zonas del avión paneles asociados a componentes específicos de la aeronave. Entre ellos se incluyen elementos como el fuselaje, las ventanas, el tren de aterrizaje, el fan del motor, la turbina, los neumáticos, el sistema de cableado eléctrico y distintos componentes estructurales y aerodinámicos.

El objetivo de cada grupo consiste en analizar las características de cada componente y decidir qué material resulta más adecuado para su fabricación. Para ello, los participantes deben reflexionar sobre la función y aplicación de cada elemento de la aeronave, las condiciones físicas y mecánicas a las que se encuentra sometido y la influencia de factores como el ambiente de operación, la temperatura, la corrosión o el peso sobre el comportamiento global del avión. Una vez tomada la decisión, las tarjetas se colocan sobre el panel correspondiente distribuido alrededor de la aeronave. La dinámica permite relacionar de forma intuitiva las propiedades de los materiales con aplicaciones reales en el avión. Algunos ejemplos son la necesidad de que determinadas antenas y sistemas eléctricos presenten una

elevada conductividad eléctrica, favoreciendo el uso de materiales como el cobre; las extremas temperaturas alcanzadas en el interior del motor, especialmente en la zona de la turbina, donde destacan las superaleaciones base níquel; o la necesidad de absorción de vibraciones, soportar impactos y resistir desgaste en los neumáticos, fabricados principalmente a partir de caucho y materiales elastoméricos.

La actividad incorpora además una componente colaborativa y competitiva. El primer grupo que completa correctamente la asociación entre materiales y componentes avisa al supervisor de la actividad, quien revisa el resultado final y valida las respuestas. Esta dinámica favorece la interacción entre participantes y genera discusiones técnicas especialmente enriquecedoras durante la etapa de asociación de materiales. Con frecuencia surgen discrepancias entre los miembros de un mismo grupo acerca de qué material resulta más adecuado para determinados componentes de la aeronave. Estas situaciones obligan a los participantes a reflexionar, argumentar y debatir sus decisiones con el resto de los compañeros, promoviendo un aprendizaje autónomo y colaborativo. De esta manera, los propios asistentes intercambian conocimientos, justifican propiedades y relacionan conceptos de ingeniería y ciencia de materiales, convirtiendo la actividad en una experiencia mucho más enriquecedora.

A medida que avanza la actividad, los asistentes no solo aprenden a identificar materiales, sino que comienzan también a comprender las razones de diseño asociadas a cada uno de ellos. De forma progresiva, los participantes descubren cómo la selección óptima de materiales condiciona directamente el comportamiento, la eficiencia y la seguridad de la aeronave. Asimismo, la actividad permite introducir de manera intuitiva conceptos relacionados con fabricación avanzada, optimización estructural y diseño aeronáutico, mostrando que detrás de cada componente existe un importante proceso de ingeniería. Algunos ejemplos de ello son la tendencia actual a sustituir materiales metálicos por materiales compuestos con el objetivo de reducir peso y consumo de combustible, o la utilización de estructuras optimizadas, como paneles tipo sándwich o configuraciones celulares, capaces de maximizar la resistencia mecánica minimizando simultáneamente la masa estructural. De esta manera, los participantes comprenden que el diseño de una aeronave no depende únicamente de su geometría o de la potencia de sus motores, sino también de una compleja combinación de materiales, procesos de fabricación y soluciones estructurales avanzadas que permiten garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del vuelo.

4. IMPACTO.

La actividad ha demostrado poseer un elevado potencial como herramienta de divulgación científica y aprendizaje activo, especialmente gracias a su capacidad para adaptar conceptos complejos de ingeniería y ciencia de materiales en experiencias visuales, participativas y

comprensibles para públicos con niveles de conocimiento y edades muy diversas.

Aunque el acceso tanto de instituciones públicas como privadas a aeronaves reales es generalmente limitado, resulta fundamental aprovechar la oportunidad que ofrecen espacios como el Campus Tecnológico Fábrica de Armas de Toledo, donde la presencia de un avión fuera de servicio permite desarrollar actividades capaces de acercar el sector aeroespacial al público general de una forma directa y experimental. El empleo de una aeronave real como recurso docente y divulgativo aporta un importante valor diferencial frente a otros formatos tradicionales basados únicamente en imágenes, vídeos o recursos virtuales.

Uno de los principales impactos observados durante el desarrollo de la actividad en el *Congreso Nacional de Divulgación en Materiales Materdivulga 2025* (Figura 4) fue el incremento del interés y la curiosidad de los participantes hacia la aviación y los materiales aeronáuticos. Incluso en un contexto donde los asistentes contaban ya con formación científico-técnica, la actividad permitió descubrir aplicaciones y usos de materiales que habitualmente pasan desapercibidos. Los participantes valoraron especialmente el carácter práctico y cercano de la propuesta, así como la posibilidad de interactuar directamente con una aeronave real para comprender cómo las propiedades de los materiales condicionan el diseño y funcionamiento de cada componente.



Figura 4. Debate y razonamiento colaborativo entre los participantes durante la asociación de materiales con distintos componentes de la aeronave.

Por otro lado, el empleo de un avión real como elemento central genera además una fuerte atracción inicial que favorece la participación de los asistentes. La posibilidad de observar y analizar físicamente la aeronave contribuye a romper la percepción abstracta que frecuentemente existe sobre la ingeniería aeronáutica, acercando esta tecnología al público de una manera mucho más tangible, visual y accesible.

La actividad también contribuye a desmontar ideas erróneas o simplificaciones frecuentes relacionadas con la aviación y la selección de materiales. Muchos asistentes comienzan la experiencia percibiendo el avión

únicamente como una gran estructura metálica, mientras que tras la actividad son capaces de identificar las diferentes zonas funcionales de la aeronave y comprender que cada componente trabaja bajo condiciones físicas, térmicas y mecánicas completamente distintas. De esta forma, los participantes entienden que un material, aunque presente propiedades excelentes en determinados aspectos, no significa necesariamente que resulte adecuado para todas las aplicaciones aeronáuticas, ya que la selección final depende del equilibrio entre múltiples propiedades y requisitos en servicio.

Asimismo, la actividad permite visualizar la evolución histórica de los materiales empleados en aviación y comprender cómo el desarrollo de nuevos materiales ha sido uno de los principales motores del avance aeronáutico. Los participantes pueden relacionar el paso de las primeras aeronaves fabricadas con estructuras de madera y tela, como las empleadas por los hermanos Wright, hacia los aviones metálicos de aluminio característicos del siglo XX, hasta llegar a las modernas aeronaves del siglo XXI basadas en materiales compuestos avanzados capaces de mejorar la eficiencia y aumentar las prestaciones estructurales y aerodinámicas reduciendo peso.

La actividad desarrollada presenta además una gran versatilidad de aplicación, pudiendo utilizarse tanto en contextos de divulgación científica como en docencia universitaria. El Campus Tecnológico Fábrica de Armas recibe cada año un elevado número de nuevos estudiantes procedentes de disciplinas muy diversas, convirtiéndose en un entorno especialmente adecuado para desarrollar iniciativas capaces de acercar la ciencia y la ingeniería a toda la comunidad universitaria. En este contexto, la actividad constituye una herramienta sencilla, visual y de bajo coste para fomentar la curiosidad científica, despertar vocaciones STEM y mostrar de forma cercana aplicaciones reales de la ciencia de materiales dentro del sector aeroespacial.

5.- AGRADECIMIENTOS.

Se agradece al Ejército del Aire la cesión del avión Dassault Falcon 20 para su utilización como recurso docente y divulgativo. Asimismo, se agradece la financiación y el apoyo material necesarios para el desarrollo de la actividad a los proyectos de divulgación científica *Descubriendo Materland*, (FCT-23-19226), y *Mujeres Ingeniosas, Ingenieras del Futuro* (FCT-24-21362) financiados por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

NORMAS DE PRESENTACION DE LA REVISTA “MATERIAL-ES” [12 ptos]

[Línea en blanco 10 ptos]

A. Pérez¹, M. Martínez¹, J. López² [11 ptos]

[Línea en blanco 10 ptos]

¹Centro y dirección 1, antper@unizere.es [11 ptos]

²Centro y dirección 2 [11 ptos]

[4 Líneas en blanco 10 ptos]

Resumen: En el siguiente texto se presentan las normas para la presentación de los trabajos completos. (*El formato en el que se presenta el presente texto, sirve de orientación a la estructura del trabajo*). El no cumplimiento de estas directrices puede implicar la exclusión del trabajo en la revista.

[Línea en blanco 10 ptos]

Palabras clave: palabras clave que caractericen el contenido del artículo separadas por comas.

[2 Líneas en blanco 10 ptos]

1. EXTENSIÓN.

Se admitirán trabajos completos de hasta 4 páginas (excepto en artículos invitados, que pueden ser de mayor longitud) incluyendo todas las secciones, ajustándose al formato que se indica a continuación. Para su correcto procesamiento, el fichero resultante deberá tener un tamaño menor a 5 MB.

2. FORMATO GENERAL.

Los márgenes serán de 2 cm en todos los casos (superior, inferior, derecha e izquierda). El texto debe ajustarse a 2 columnas (Excepto el Título, Autores y Resumen), con espaciado entre columnas de 1cm. Se utilizará espaciado simple entre líneas de texto dejando una línea en blanco entre párrafos (sin sangrado), así como entre el texto y el encabezado siguiente. La primera línea después de un encabezado tendrá un espaciado anterior de 6 ptos para separarlo del encabezado.

Tipo de letra para el texto principal: Times New Roman 10.

3. TÍTULO.

Centrado la parte superior de la primera hoja sin dejar espacio. Letra: Times New Roman 12, mayúsculas y **negrita**.

4. AUTORES.

El nombre de los autores constará centrado debajo del título, dejando una línea en blanco de 10 ptos. Tipo de letra: Times New Roman 11 **negrita cursiva** y en minúsculas. Deberá subrayarse el nombre del autor que presenta el trabajo y la pertenencia a distintos centros se indicará con un superíndice detrás del nombre.

Tras una línea en blanco, se indicará la filiación de los autores. Debe hacerse constar la dirección de correo electrónico del autor de correspondencia. La dirección de cada centro, en su caso, se incluirá en una línea diferente. Times New Roman 11.

5. RESUMEN.

No debe exceder de 150 palabras. Se colocará debajo de los autores tras 4 líneas en blanco (tamaño 10 puntos). Tras el resumen se colocarán las palabras clave con un espacio en blanco de 10 puntos. El texto principal a doble columna comenzará tras dos líneas en blanco de las palabras clave.

6. ENCABEZADOS.

Los encabezamientos de los distintos apartados se mecanografiarán en mayúsculas y en negrita y serán numerados correlativamente. Los subencabezados, en su caso, deberán ir en minúsculas y subrayados. En todos los casos se acabará con un punto.

Se dejará un espacio en blanco antes del encabezado, pero la primera línea de texto tras el encabezado tendrá un espaciado de párrafo de 6 puntos, siempre con interlineado sencillo. Los subapartados, se numerarán por orden de aparición con el nº de apartado seguido del subapartado seguido cada uno de punto, con espaciado de párrafo anterior de 6 puntos. No se debe poner espaciado anterior y posterior a la vez, para mantener la distancia en 6 puntos.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

2.1. Materias primas.

Texto correspondiente. Párrafo con espaciado posterior 6 ptos.

7. ECUACIONES Y FÓRMULAS.

Se recomienda mecanografiar las fórmulas dejando una línea en blanco antes y después de las mismas y consignando su número de referencia entre paréntesis en el margen derecho. Las ecuaciones deben citarse en el texto antes de aparecer.

8. FIGURAS Y TABLAS.

Las figuras aparecerán insertadas en el lugar del texto que les corresponda.

Como norma general, las tablas y figuras deberán ocupar el ancho de columna, aunque en caso necesario pueden prepararse para abarcar el ancho de hoja. Las figuras, a las que se hará referencia en el texto sin destacar ni en negrilla ni en cursiva, aparecerán numeradas correlativamente y con un pie de figura que tendrá la estructura que se muestra en el siguiente ejemplo:

Figura 1. Sección longitudinal del pliegue 2 A. Pliegue en la parte interna del codo. 2,4x.

Las tablas tendrán el mismo tipo de letra que el texto, anteponiendo a cada tabla el número y título correspondiente en la forma que se indica:

Tabla 1. Composición química de los aceros.

La leyenda de las tablas se pondrá justo encima de la tabla, mientras que los pies de figura se pondrán justo debajo de la figura.

9. REFERENCIAS.

Se citarán en el texto con el número correspondiente entre corchetes: [1]. Aparecerán agrupadas en la última sección. Las referencias se numerarán correlativamente en el orden que aparecen en el texto, con la forma siguiente:

[1] Kamdar, M. H., “Embrittlement by Liquid and Solid Metals”, Ed. The Metallurgical Society, 1984.

SCIENTIFIC JOURNAL "MATERIAL-ES" GUIDELINES FOR PRESENTATION

[Blank line 10 points]

A. Pérez¹, M. Martínez¹, J. López² [11 ptos]

[Blank line 10 points]

1 Group and address 1, antper@unizere.es [11 ptos]

2 Group and address 2 [11 ptos]

[Blank line 10 points]

[Blank line 10 points]

[Blank line 10 points]

[Blank line 10 points]

Summary: In the following text are described the guidelines for presenting complete works. (*The format in which this text is presented, serves as an orientation of the work structure*). Failure to comply these guidelines may involve the exclusion of the work from the magazine.

[Blank line 10 points]

Keywords: keywords that characterize the article content separated by commas.

[Blank line 10 points]

[Blank line 10 points]

1. EXTENSION.

Full papers of up to 4 pages (excepting invited articles that could be longer) including all sections following the format rules given herein are welcome. For a correct processing, the resulting file size must be less than 5 MB.

2. GENERAL FORMAT.

The margins will be 2 cm in all cases (upper, lower, right and left). The text must be adjusted to 2 columns (except the Title, Authors and Summary), with 1 cm. spacing between columns. Simple spacing will be used between lines of text leaving a blank line between paragraphs (without bleed), as well as between the main text and the next section heading. The first line after the heading will have a paragraph space of 6 points.

Main text formatted in Times New Roman font size 10.

3. TITLE.

At the top of the first sheet, centered without leaving space. Times New Roman font size 12, caps and **bold**.

4. AUTHORS.

The name of the authors will be centered below the title, leaving a blank line of 10 points. Type of letter: Times New Roman font size 11 **bold, italics and lowercase**. The name of the author presenting the work should be underlined, and membership to different groups will be indicated by a superscript after the name.

After a blank line, the authors affiliation will be indicated. The rapporteur's e-mail address must be included. In the case of postgraduate and master students it is recommended to provide the email of one of their supervisors, due to their intrinsic temporality. Each center's address, if so, will be included in a different line, Times New Roman font size 11.

5. SUMMARY.

It will not exceed 150 words in the English version. It will be placed below the authors after 4 blank lines (10 points size). After the summary, the keywords will be given, with a space of 10 points in between. The main text in double column will begin after the keywords separated by two blank lines.

6. HEADINGS.

Different sections headings will be typed in **CAPITAL LETTERS, BOLD** and will be numbered correlatively. Subheadings, if applicable, should be lowercase and underlined.

The text will be separated from the next heading by a blank line, but after the heading, the first line of text will not have blank line, although it must have a paragraph spacing of 6 points. The subsections will be numbered in the order of appearance with the section number followed by the subsection, each followed by a point, with a previous paragraph spacing of 6 points. Previous and subsequent spacing should not be applied at the same time to maintain a distance of 6 points. Example:

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE.

2.1. Raw materials.

Texto correspondiente. Párrafo con espaciado posterior 6 ptos.

7. EQUATIONS AND FORMULAS.

It is recommended to type the formulas leaving a blank line before and after them and entering their reference number in parentheses in the right margin. Equations should be cited before appearing in the text.

8.FIGURES AND TABLES.

The figures will appear inserted in the corresponding place of the text.

As a general rule, tables and figures should occupy the column width, although if necessary they can be prepared to cover all the sheet width. The figures, to

which reference will be made in the text, will appear numbered correlatively and with a figure foot that will have the structure shown in the following example:

Figure 1. Longitudinal section of the fold 2 A. Fold in the inner elbow side. 2,4x.

The tables will have the same format as the text, placing the corresponding number and title before each table as shown:

Table 1. Chemical composition of steels.

The legend of the tables are put above the table, while the explanation of the figures appear as foot below them.

9.REFERENCES.

They will be cited in the text with the corresponding number in brackets: [1]. They will be presented grouped in the last section. The references will be numbered correlatively in the order they appear in the text, with the following form:

[1] Kamdar, M. H., “Embrittlement by Liquid and Solid Metals”, Ed. The Metallurgical Society, 1984.