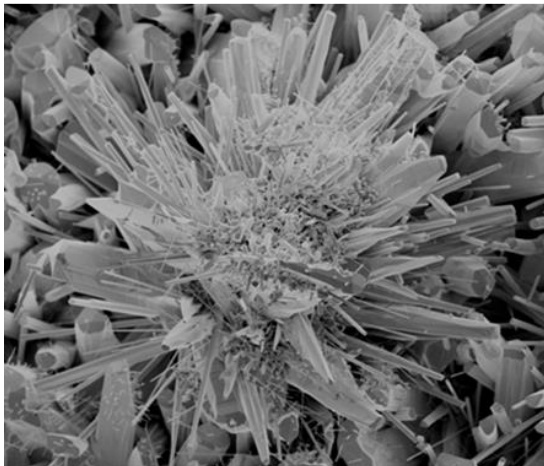
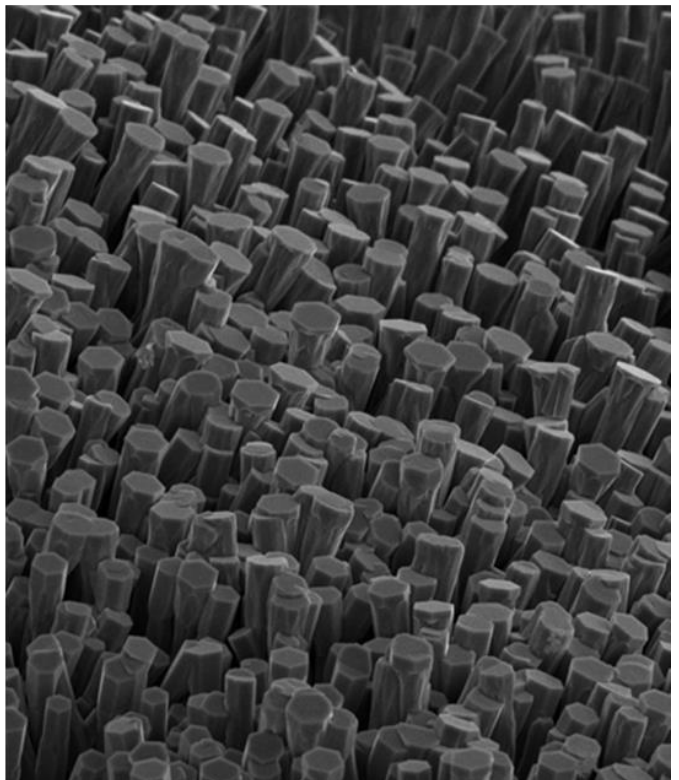
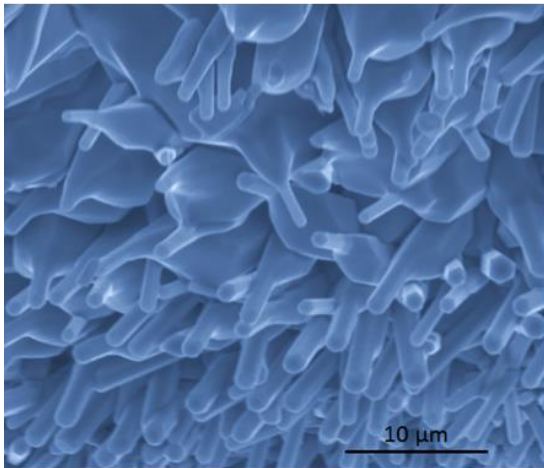
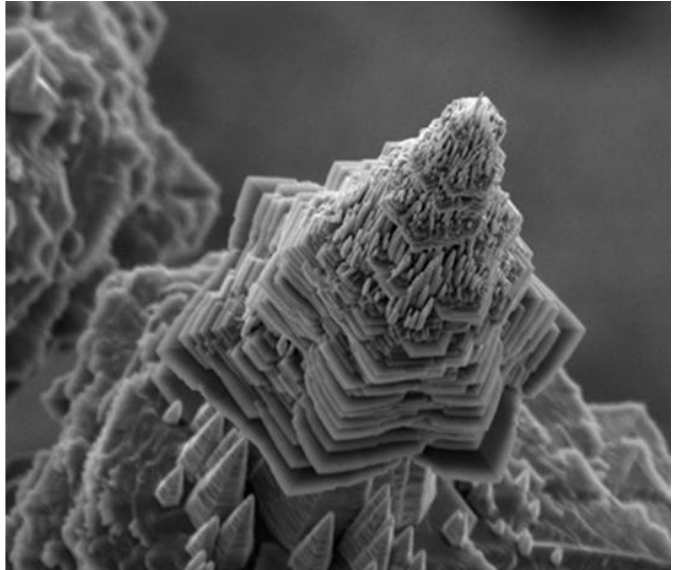
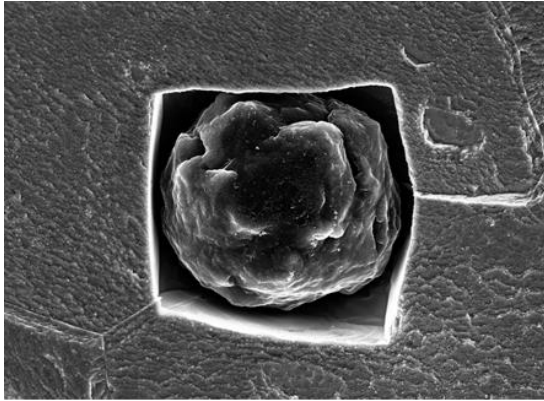


Material-ES

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MATERIALES



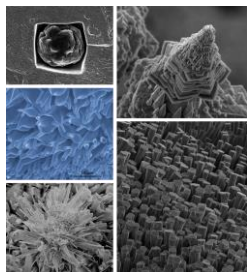


Imagen de Portada:

Fotos presentadas al Concurso de Fotografía en el Congreso Nacional de Materiales de Salamanca 2018.

(De arriba abajo) Izquierda. E. Mardaras (Grafito en la ventana); M. Rodríguez Peña (Lápices azules); B. Sotillo (Caos estructural). Derecha: P. Künzle y B. Sotillo (Torre de Babel); M. Rodríguez Peña (La calzada de los gigantes).

Editor

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

Secretaría

Anna Muesmann. *SOCIEMAT. Madrid. España.*

Junta Directiva de SOCIEMAT

Presidente:

Juan José de Damborenea González

Vicepresidente:

Rodrigo Moreno Botella

Secretaria:

Gloria Patricia Rodríguez Donoso

Tesorera:

Anna M^a Muesmann Torres

Presidente Saliente:

Paloma Fernández Sánchez

Vocales:

M^a Victoria Biezma Moraleda

Jose Ygnacio Pastor Caño

M^a Teresa Pérez Prado

José Luis Plaza Canga-Argüelles

Daniel Sola Martínez

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

ARTÍCULO INVITADO

Análisis de materiales mediante radiación sincrotrón

A. Cuesta; A. G. De la Torre; I. Santracruz; M. A. G. Aranda 1

La ciencia de los materiales desde la fantasía y la ciencia ficción

F. Ternero; J.M. Montes 6

I+D+i EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

Programa de I+D: “Additive manufacturing: from material to application” (ADITIMAT-CM)

M. Verde; M. Mohedano; J. Rams 10

La plataforma temática interdisciplinar del CSIC para el desarrollo de la Fabricación aditiva como ejemplo de colaboración público-privada

J. de Damborenea; C. Capdevilla; I. García 13

EDITORIAL

Empezamos un nuevo año desde la revista con la alarmante noticia de la progresiva expansión del COVID-19 que está truncando tantas vidas y modificando hasta límite nunca antes imaginados nuestra forma de vida cotidiana. Desde SOCIEMAT queremos expresar nuestro dolor por la preocupante situación generada y por las muchas víctimas que se está cobrando el corona virus. Hasta donde podamos seguir actuando trataremos de mantener el mismo espíritu positivo y continuar con nuestras actividades. No obstante, os instamos a mantener la calma en estos duros momentos y a seguir las recomendaciones establecidas por las autoridades sanitarias y mantener el estado de autoaislamiento en beneficio de todos. Creemos –por último- que también la Ciencia e Ingeniería de Materiales pueden colaborar a combatir este tipo de pandemias, como lo demuestran los distintos grupos que trabajan en sistemas de liberación controlada de fármacos, desarrollo de sensores para la detección de las infecciones o recubrimientos con propiedades anti infecciosas.

Pese a que las noticias no son esperanzadoras, mantenemos aún la idea de celebrar el Congreso Nacional de Materiales en Málaga del 23 al 26 de junio, siempre que la situación haya sido controlada para esas fechas. No obstante, si el estado de alarma actual se prolongase, consideraríamos la necesidad de aplazarlo para después del verano con el fin de evitar cualquier situación de peligro que pudiera existir. En cualquier caso, os informaremos debidamente a medida que conozcamos la evolución de los acontecimientos. La información del congreso, como sabéis, se halla disponible en la página web <https://cnmat2020.com/>.

De forma análoga, os recordamos que el Junior EUROMAT 2020, se celebrará en Granada del 12 al 16 de julio (más información en <https://junioreuromat2020.com/>). Si hubiese que modificar las fechas os lo anunciaríamos debidamente.

Os animamos a consultar periódicamente las páginas web de ambos Congreso y a comenzar a hacer vuestros planes de participación en ellos.

Finalmente, aprovechamos estas fechas para enviaros nuestros mejores deseos y compartir la esperanza de que la actividad devastadora de la pandemia quede bajo control cuanto antes. Gracias a todos por el esfuerzo común y por la solidaridad mostrada en momentos tan difíciles.

ARTÍCULO INVITADO**ANÁLISIS DE MATERIALES MEDIANTE RADIACIÓN SINCROTRÓN****A. Cuesta¹, A. G. De la Torre¹, I. Santracruz¹, M. A. G. Aranda¹**¹Departamento de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Málaga, 29071 Málaga, Spain, g_aranda@uma.es

Resumen: La radiación sincrotrón se produce en grandes instalaciones que albergan aceleradores de electrones y tienen generalmente la energía de los rayos-X. Los fotones de naturaleza sincrotrón tienen propiedades excepcionales que los hacen muy útiles para un abanico amplio de investigaciones incluyendo el análisis de materiales. Las propiedades más sobresalientes son: i) muy alto flujo (y brillo); ii) posibilidad de seleccionar la energía de los fotones, para adecuarla al experimento; iii) posibilidad de seleccionar el tamaño del haz de fotones; iv) polarización variable; v) estructura temporal; vi) parcialmente coherente y colimada. Estas propiedades se están utilizando para la caracterización avanzada, y en muchos casos complementaria a otras técnicas, de materiales. En este trabajo se va a dar un resumen muy breve de las técnicas más utilizadas así como ejemplos de sus usos para una mejor caracterización de materiales.

Palabras clave: análisis *in situ*, análisis operando, difracción, espectroscopía, microscopía y tomografía de rayos-X

1. INTRODUCCIÓN.

Los sincrotrones actuales (tercera generación) son un tipo especial de aceleradores circulares de electrones especialmente diseñados para producir radiación electromagnética de unas características excepcionales. Estas grandes instalaciones están orientadas a dar servicio tanto a usuarios académicos como industriales. La diferencia entre ambos es el modo de acceso: el primero competitivo, basado en la excelencia científica de las propuestas presentadas, gratis para los investigadores y con obligación de publicar los resultados obtenidos si son positivos; el segundo es propietario y por tanto sin obligación de publicar, pero hay que pagar las horas utilizadas.

Un artículo breve como éste no puede entrar en el pasado de estas instalaciones, ni en las diferentes formas de producir los fotones dentro del anillo de almacenamiento. Sin embargo, todas las tecnologías necesarias para tener líneas de luz que permitan investigaciones en la frontera del conocimiento son críticas. Se remite al lector interesado a libros y monografías generales de las que se pueden obtener detalles sobre estos temas [1-4].

La radiación sincrotrón (RS) se produce en dispositivos magnéticos (con diferentes configuraciones) y se transporta a las líneas de luz. Las líneas están, normalmente, divididas en tres espacios, denominados: i) cabaña óptica, ii) cabaña experimental; y iii) cabaña de control. Además, los sincrotrones suelen contar con laboratorios anexos para dar un mejor servicio a los usuarios donde se pueden realizar la preparación de muestras así como caracterizaciones preliminares. La cabaña óptica contiene los elementos que permiten convertir el haz policromático inicial en un haz monocromático con la longitud de onda (energía) y tamaño adecuado al experimento. Los principales

elementos ópticos son monocromadores, espejos, lentes, rendijas, monitores y elementos de diagnóstico en general. Detallar las características técnicas de estos elementos no entra dentro del ámbito de este trabajo.

La muestra se sitúa en la cabaña experimental y está rodeada de equipamientos que permiten realizar el experimento. Ejemplos de estos dispositivos son detectores, goniómetro(s), eje(s) de rotación, hornos, criostatos, celdas catalíticas, celdas de presión, celdas electroquímicas, imanes, etc. El experimento se lleva a cabo y se supervisa desde la cabaña de control.

Las propiedades excepcionales de la RS, que permiten una caracterización sin precedentes de los materiales, se dan en la Tabla 1. No hay espacio aquí para analizar en detalle todas estas propiedades (ni todas las técnicas disponibles, Figura 1) pero hay revisiones bibliográficas del uso de la RS en diferentes temáticas incluyendo: materiales electroquímicos en baterías recargables [5], materiales para el almacenamiento de hidrógeno [6], materiales procedentes de nuestro patrimonio cultural [7] y materiales de la construcción [8].

En la Figura 1 se detallan las principales técnicas de caracterización de materiales que permite la RS. La estructura de esta revisión es dar ejemplos seleccionados que usan técnicas de difracción/dispersión y espectroscópicas. Se hará un énfasis especial en estudios *in-situ* (y en condiciones *operando*), ya que son los que aprovechan en mayor medida todas las ventajas que proporciona la RS. No hay espacio para profundizar en las técnicas de imagen por rayos-X, aunque se destaca que cada vez tienen más importancia. Se termina con nuestra visión del uso de la RS en la caracterización de materiales en los años venideros.

2. ANÁLISIS MEDIANTE DIFRACCIÓN / DISPERSIÓN.

Como se detalla en la Figura 1, las técnicas de caracterización elásticas se subdividen en técnicas de difracción y de dispersión. En las de difracción, donde la repetición de motivos a larga distancia hace que la señal sea mucho más intensa (picos de Bragg), se subdividen según la naturaleza de la muestra: polvo, micro- mono-cristales, superficies, etc. Por otro lado, el tipo de caracterizaciones es muy amplio ya que se combina con los diferentes estímulos a los que se pueden someter las muestras: temperatura, presión, voltajes, etc., ver Figura 1 (parte superior izquierda).

Como ejemplo de difracción de polvo sincrotrón *in situ* se puede citar un estudio de materiales en baterías recargables [9]. En la Figura 2 se muestra una fotografía de una pila de botón en el difractómetro MSPD (Materials Science and Powder Diffraction) del sincrotrón ALBA. En este caso, el cátodo se descarga y carga de iones sodio mientras se toman difractogramas para entender las consecuencias estructurales de los procesos electroquímicos (en el cátodo) así como su reversibilidad en el proceso de ciclado. Para el estudio de materiales nanométricos y amorfos cada vez tienen más uso las técnicas de ‘dispersión total’ analizando los datos por la metodología PDF (Pair Distribution

Function). Se toman datos hasta valores de Q elevados, idealmente mayor de $22 \text{ \AA}^{-1}$. En esta temática se puede destacar el análisis de cementos hidratándose que contienen una fase nanocristalina, gel C-S-H, que es el que da las propiedades cementantes [10,11]. En la Figura 3 se representan los difractogramas tomados en ID15A (ESRF, European Synchrotron Radiation Facility) en el proceso de hidratación con el detector muy cerca de la muestra (datos adecuados para el análisis por PDF) y con el detector alejado (datos para análisis de fases por la metodología de Rietveld). Subrayar que la muestra es la misma y sólo cambia (online) la posición del detector.

3. ANÁLISIS ESPECTROSCÓPICOS.

Como se muestra en la Figura 1, hay muchos métodos espectroscópicos para el estudio de materiales con RS. No sólo con rayos-X, sino también con foto-electrones y radiación infrarroja.

En esta sección se pueden destacar estudios *in situ* de materiales para la energía utilizando XANES (X-ray Absorption Near-Edge Spectroscopy) en ALBA [12]. En este trabajo se tomaron espectros del borde de absorción-K del vanadio durante la carga y se observó una desproporción del V^{IV} en estas condiciones.

Tabla 1. Propiedades principales de la radiación sincrotrón.

Propiedades de la RS	Características / Usos / Inconvenientes (en cursiva)
Brillo y flujo extremos	● Relación señal/ruido muy alta, que permite tomar datos de gran calidad → Derivada de la anterior: límites de detección y cuantificación más bajos → Derivada de la anterior: Toma de datos muy rápida, que pueden llegar a los microsegundos, o bien ii) de muestras muy pequeñas (microcristales, etc.) ● Permite trabajar con entornos de muestra complejos que absorben mucha radiación ya que aun así se puede detectar señal ● <i>En muestras sensibles se puede producir daño por radiación</i>
Posibilidad de seleccionar la energía	● Selectividad química mediante los bordes de absorción de los diferentes elementos ● Altas energías permiten minimizar la absorción en entornos de muestras complejos ● Permite mejorar el contraste en imagen en rayos-X blandos (p. ej., usando la ‘ventana del agua’)
Posibilidad de seleccionar el tamaño del haz de rayos-X	● Permite un rango muy amplio de imagen de rayos-X desde centímetros en dispositivos hasta elementos nanométricos en nanotecnología ● Se puede adecuar (dentro de ciertos límites) el tamaño del haz al experimento para optimizar la calidad de los resultados ● Permite diseñar entornos de muestras con más grados de libertad
Muy alta estabilidad	● Permite obtener datos de alta resolución y alta reproducibilidad
Haces paralelos (colimados)	● Minimiza errores y aberraciones (por ejemplo, en difracción de polvo) ● Mejora las técnicas de reconstrucción en imagen de rayos-X de campo completo ● <i>Limita la magnificación posible en imagen por rayos-X</i>
Coherencia (transversal) parcial	● Se usa en las técnicas de imagen por contraste de fases ● Se usa en las técnicas de imagen por difracción coherente (Bragg y ‘forward’)
Polarización	● Permite estudiar materiales magnéticos con rayos-X ● Combinado con la posibilidad de seleccionar la energía permite estudiar materiales magnéticos con selectividad elemental (por ejemplo, en multicapas metálicas)

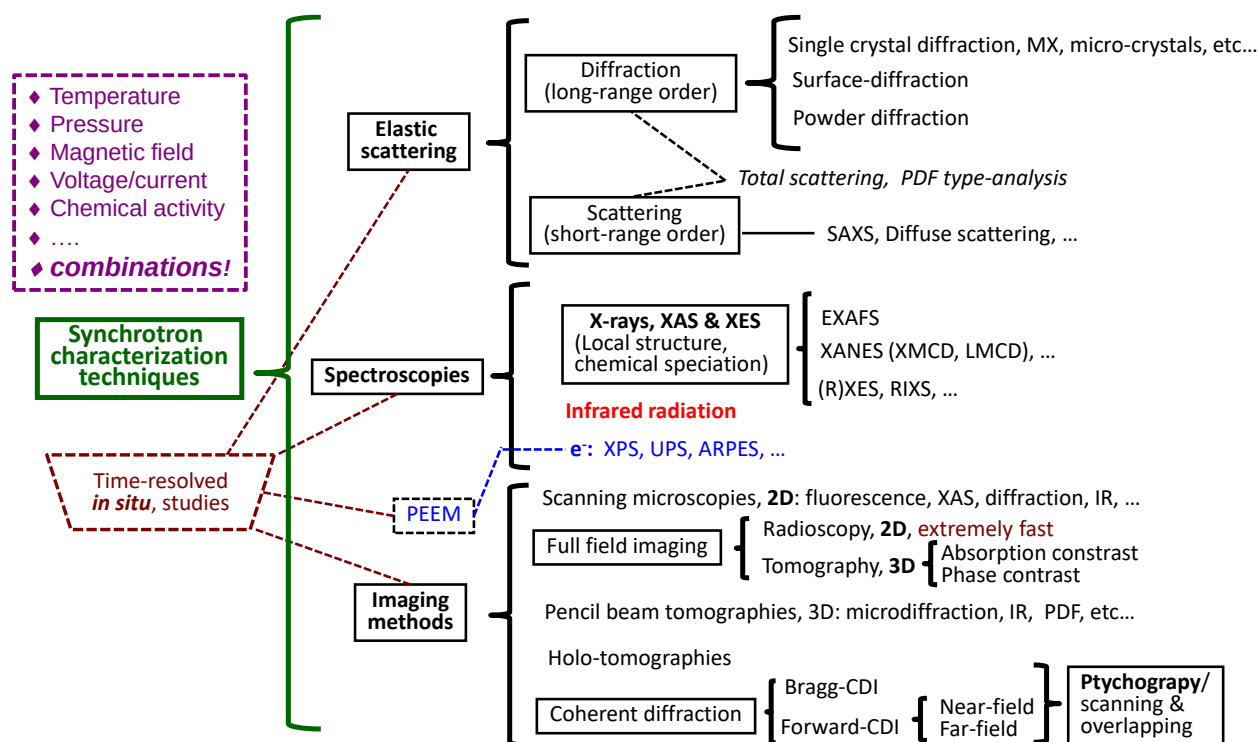


Figura 1. Resumen de las principales técnicas de caracterización con RS. Parte superior derecha – técnicas de difracción y dispersión. Parte central derecha – técnicas espectroscópicas. Parte inferior derecha – técnicas de imagen (con resolución espacial). Las técnicas que miden electrones se detallan en azul. Además, la mayoría de los análisis se pueden hacer en función del tiempo. Estas herramientas están especialmente diseñadas para aplicar estímulos adicionales (como temperatura, presión, etc.) que permiten hacer caracterizaciones in situ – parte superior izquierda.

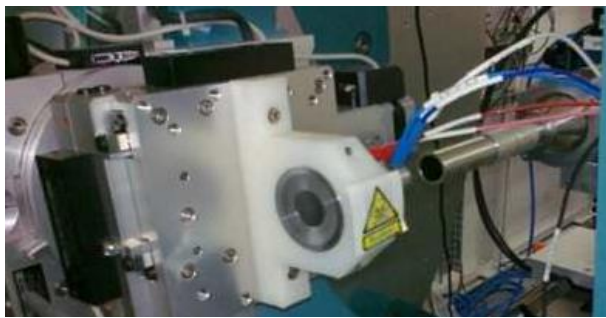


Figura 2. Dispositivo electroquímico en el difractómetro de polvo MSPD. © Sincrotrón ALBA.

4. SINCROTRÓN ESPAÑOL ALBA.

ALBA (www.cells.es) dispone actualmente de 8 líneas de luz en operación y cuatro en construcción, ver Figura 4. Las técnicas disponibles en ALBA se dan en https://www.cells.es/es/beamlines?set_language=es

Cabe destacar que tres de las cuatro líneas de luz en construcción se dedicarán principalmente al análisis de materiales. La línea NOTOS tendrá como principal característica el análisis cuasi-simultáneo de materiales mediante difracción de polvo y absorción de rayos-X.

Los datos se podrán tomar en el mismo punto por lo que se evita las posibles alteraciones derivadas de trasladar las muestras de una estación de medida a otra. Estará especialmente dedicada al estudio de catálisis heterogénea y materiales para la energía. LOREA se dedicará a la técnica espectroscópica de fotoemisión de electrones resuelta en ángulos para caracterizar estructuras de bandas de materiales. También dispondrá de un detector de electrones con polarización de espín para el estudio de materiales magnéticos. Finalmente, FAXTOR será una línea de luz dedicada a microscopía (2D) y tomografía (3D) de materiales con rayos-X duros. Se dispondrá tanto del mecanismo de contraste por absorción (detector muy cerca de la muestra) como del mecanismo de contrastes de fases (en diferentes modalidades incluyendo las de propagación).

5. PREVISIÓN PARA UN FUTURO CERCANO.

En esta sección se debe destacar el sincrotrón europeo ESRF (www.esrf.eu) que cuenta con 44 líneas de luz, entre las propias y las alojadas por entidades colaboradoras (CRG). Entre éstas es de especial utilidad para la comunidad científica española SpLine, www.esrf.eu/UsersAndScience/Experiments/CRG/BM25, que después de la parada del ESRF ofrecerá las técnicas de difracción de superficies, difracción de

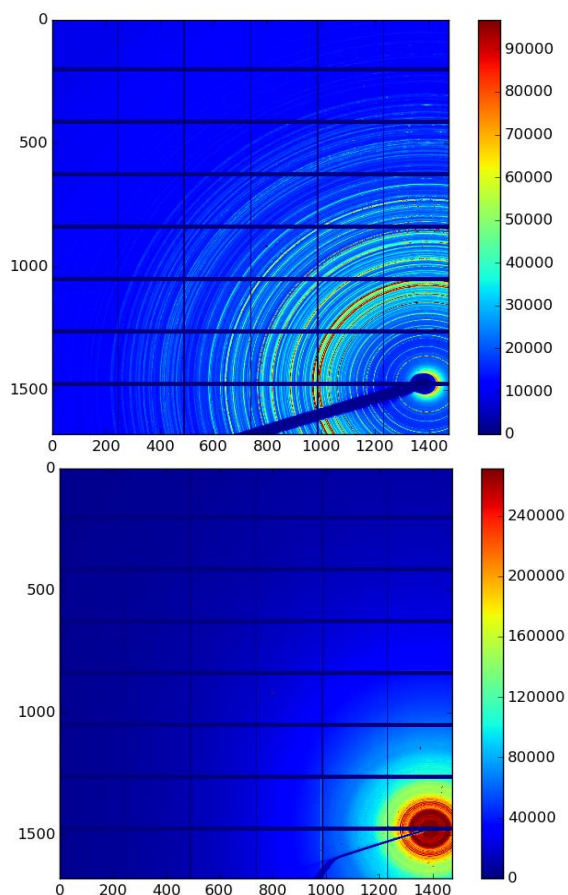


Figura 3. Difractogramas 2D de fases de cemento hidratándose tomados en ID15A (ESRF) con $E=65.35$ keV. Arriba: datos para análisis de tipo Rietveld con una distancia muestra- detector de 1000 mm ($Q_{\max}=8 \text{ \AA}^{-1}$). Abajo: datos para análisis de tipo PDF con una distancia muestra- detector de 180 mm ($Q_{\max}=30 \text{ \AA}^{-1}$).

monocristales y fotoemisión de rayos-X duros. Está previsto que el ESRF comience a operar a finales de agosto de 2020 después de una parada de 20 meses en la que ha transformado el anillo de almacenamiento de electrones en uno de muy baja emitancia (sincrotrones de cuarta generación), <https://ebs.esrf.fr/>. Esta mejora resultará en un aumento del brillo y de la coherencia transversal en casi dos órdenes de magnitud por lo que se podrán hacer experimentos con tamaños de haces muy pequeños, bastante menores del micrómetro. Las técnicas de difracción, dispersión e imagen se verán muy beneficiadas por estas mejoras. Además, la cantidad de datos que se producirán, teniendo en cuenta que los nuevos detectores graban datos a velocidades cada vez mayores (en algunos casos por debajo del milisegundo), será abrumadora lo que resultará en un gran desafío para el análisis eficiente de los conjuntos de datos que se produzcan. Por ello, se está evolucionando desde dar datos que sean analizados por los usuarios en sus instituciones a también proporcionar software para que se analicen los datos en las infraestructuras informáticas de los sincrotrones.

Una tendencia en el análisis de materiales es la de pasar de condiciones *in situ* a condiciones *operando* (similares a las que tienen lugar en los procesos industriales). Otra tendencia es potenciar los análisis multiescala (revelando detalles [micro]estructurales cada vez menores) y multimodales (combinando diferentes técnicas que dan diferentes informaciones del mismo sistema).

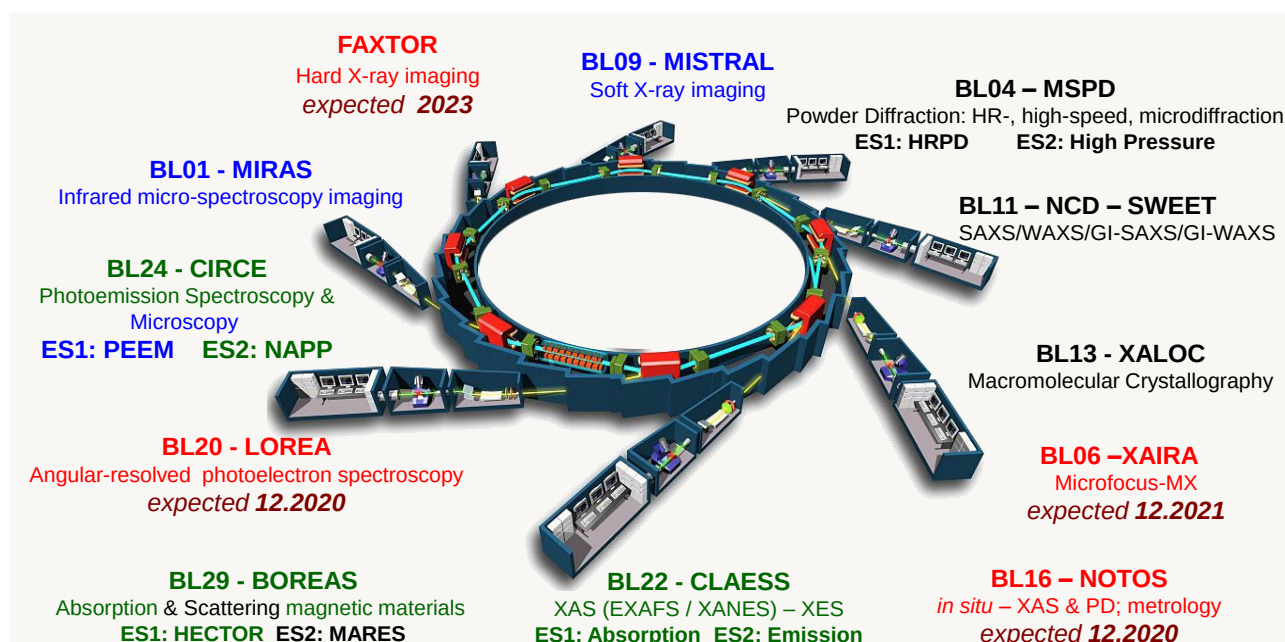


Figura 4. Esquema con las ocho líneas de luz en operación en el sincrotrón ALBA junto a las cuatro líneas en construcción (en rojo). Las líneas de luz con técnicas de dispersión/difracción se dan en negro, las técnicas espectroscópicas se dan en verde y las técnicas con resolución espacial en azul.

6. AGRADECIMIENTOS.

Se agradece la financiación del proyecto BIA2017-82391-R de MinCIU que está cofinanciado por FEDER.

7. REFERENCIAS.

- [1] Margaritondo, G., “Synchrotron light: A success story over six decades” *Rivista del Nuovo Cimento*, **2017**, 40(9), 411-471.
- [2] Battocchio, C., (Editor) “Advanced synchrotron radiation techniques for nanostructured materials” *Nanomaterials*, **2019**, Special Open Access Issue. ISBN 978-3-03921-681-9
- [3] Mobilio, S., et al., (Editors) “Synchrotron Radiation – Ed. Springer, **2015**. ISBN 978-3-642-55314-1
- [4] Willmott, P., “An Introduction to Synchrotron Radiation – Techniques and Applications” Ed. John Wiley and Sons, **2011**. ISBN 978-0-470-74578-6
- [5] Lin, F., et al., “Synchrotron X-ray analytical techniques for studying materials electrochemistry in rechargeable batteries” *Chem. Rev.* **2017**, 117, 13123-13186
- [6] Cheng, H., et al., “Synchrotron radiation X-ray powder diffraction techniques applied in hydrogen storage materials - A review” *Prog. in Nat. Sci.: Mater. Internat.*, **2017**, 27, 66–73.
- [7] Bertrand, L., et al., “Emerging approaches in synchrotron studies of materials from cultural and natural history collections” *Top. Curr. Chem. (Z)*, **2016**, 374:7.
- [8] Aranda, M.A.G., “Recent studies of cements and concretes by synchrotron radiation crystallographic and cognate methods” *Crystallog. Rev.* **2016**, 22(3), 150–196.
- [9] Bianchini, M., et al., “Comprehensive investigation of the $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ – $\text{NaV}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ system by Operando High Resolution Synchrotron X-ray Diffraction” *Chem. Mater.* **2015**, 27, 3009–3020.
- [10] Cuesta, A., et al., “Multiscale understanding of tricalcium silicate hydration reactions”, *Sci. Rep.* **2018**, 8:8544.
- [11] Zea-Garcia, J.D., et al., “A Comparative study of experimental configurations in Synchrotron Pair Distribution Function”, *Materials*, **2019**, 12, 1347.
- [12] Broux, T., et al., “ V^{IV} Disproportionation upon sodium extraction from $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ observed by Operando X-ray Absorption Spectroscopy and Solid-State NMR”, *J. Phys. Chem. C* **2017**, 121, 4103-4111.

LA CIENCIA DE LOS MATERIALES DESDE LA FANTASÍA Y LA CIENCIA FICCIÓN

F. Ternero¹, J.M. Montes¹

¹Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, ETSI de la Universidad de Sevilla, Avda. Camino de los Descubrimientos s/n, 41092-Sevilla, fternero@us.es

Resumen: En sus múltiples formas (libros, películas o series de televisión), los géneros fantásticos o de ciencia ficción están plagados de materiales fantásticos con propiedades asombrosas. En este trabajo se propone un ejercicio tremendamente sugestivo: prestar atención a algunos de esos materiales de la ficción, para tratar de dilucidar si son realmente fantásticos o, en cierto modo, ya existen o podrían existir, y en todo caso, servir de fuente de inspiración para desarrollar otros materiales, perfectamente reales y útiles, que posean algunas de sus características excepcionales. El objetivo último es captar la atención e interés de los alumnos por las disciplinas de *Ciencia y tecnología de los materiales*, buscando la complicidad de sus series, películas y libros favoritos. Se proponen también algunos ejemplos sobre cómo organizar un posible seminario o charla que abunde en este objetivo.

Palabras clave: materiales fantásticos, historia y futuro de los materiales, ciencia ficción, fantasía, superhéroes.

1. INTRODUCCIÓN.

Nuestros intentos por vaticinar los posibles avances tecnológicos que tendrán lugar en un futuro cercano parecen torpes y erróneos a la luz de una mirada retrospectiva. Y es que predecir o pronosticar los futuros avances tecnológicos no es cosa menor. Es posible que las obras de ficción pudieran ayudarnos en esa tarea [1].

Algunas obras fantásticas o de ciencia ficción, ya sean novelas, películas o series de televisión, aparentan poseer cierto carácter anticipatorio de los avances científicos y tecnológicos que están por llegar. En estas creaciones de ficción se describen habitualmente nuevas teorías físicas, nuevas tecnologías, y también gran número de materiales singulares, poseedores de propiedades igualmente únicas y fantásticas. Estos materiales doblemente fantásticos — por su origen y por sus propiedades — centran nuestro interés, pues supone un reto entender si tales materiales ya existen, podrían existir algún día, o sencillamente son imposibles.

¿Podría ayudarnos en esta tarea la *Ciencia de los materiales*? El objetivo principal de esta rama del saber es estudiar y describir las propiedades de los materiales, relacionándolas con las características internas del material que las hacen posibles. Y siguiendo esta línea de pensamiento hemos llegado al conocimiento de que, alterando las características internas de los materiales, ya sea mediante simples o embarazosos procesos, podemos modificar a placer las propiedades del material.

Así pues, cabría pensar que es posible aplicar los conocimientos, métodos y procedimientos de la *Ciencia de los materiales* a los materiales descritos por la ciencia ficción o por la narrativa fantástica, y obtener rédito de ello. El camino no es fácil, desde luego, porque, a menudo, la descripción de esos materiales fantásticos consta, a veces, solo de un simple nombre, y otras, las

menos, se ofrece un pequeño bosquejo que sugiere una proyección de tecnología ya conocida, o quizá alude a una nueva realidad, presumiblemente científica, pero solo en apariencia. En cualquier caso, la *Ciencia de los Materiales* siempre permitirá ofrecer un punto de vista crítico sobre si los valores de esta o aquella propiedad podrían ser reales, por inverosímiles que pudieran parecer, y en el caso de que lo fueran, identificar los modos o vías que permitirían obtener dichas propiedades.

Y desde la perspectiva docente, ¿qué beneficios cabría esperar del análisis o escrutinio de los materiales descritos en los géneros de ficción? Muchos, porque esta estrategia nos da la oportunidad de presentar —por ejemplo, mediante seminarios o charlas—, contenidos que caen habitualmente fuera de los objetivos de las asignaturas obligatorias, y no por falta de relevancia y tampoco porque susciten poco interés en los estudiantes. Los materiales fantásticos pueden ser la excusa perfecta para introducir un poco de historia, que nos explique cómo hemos llegado hasta el momento tecnológico actual, que nos enseñe el papel catalizador de los conflictos bélicos en el desarrollo de nuevos materiales (una constante en toda nuestra historia), el porqué de la importancia estratégica de ciertos materiales, de su influencia en la historia y en la sociedad; aspectos todos ellos ausentes de los temarios oficiales. Pero también pueden servirnos para introducir un concepto complejo, sutil, o poner en contraposición una pareja de conceptos a menudo confundidos, por ejemplo, *dureza/tenacidad*, o *crystal/vidrio*.

El análisis y escrutinio de las propiedades de un material, por ficticio o fantástico que sea, es un ejercicio muy saludable para los estudiantes que cursan asignaturas sobre materiales, pues puede ayudarles a consolidar los conocimientos adquiridos, desarrollar espíritu crítico, e incluso, espolear su ingenio promoviendo futuros avances tecnológicos, si terminan dedicándose a tareas de

I+D+i. Para el ciudadano medio, esta estrategia representa una oportunidad más de cuestionar la información que le llega, de juzgar críticamente lo pseudocientífico, de aprender a discernir lo que aún hoy pertenece al mundo de lo mágico, de lo que ya es plenamente factible y real, o lo que lo será en breve plazo.

No tendrá que partir desde cero en esta apasionante aventura. Puede resultarle útil la lectura del libro de la referencia [2], que lleva por título *Ciencia de los materiales fantásticos*, y que los autores de este trabajo hemos escrito precisamente con la intención de servir de apoyo a este propósito (Fig. 1).



Figura 1. Algunos de los temas abordados en el libro *Ciencia de los materiales fantásticos*.

Tanto el libro mencionado como este trabajo, tienen por objetivo seleccionar algunos materiales fantásticos, extraídos de literatura, películas y series de ciencia ficción o fantasía, para tratar de discutir su verosimilitud, o su imposibilidad, al tiempo, que nos sirvan como excusa para tratar otros aspectos colaterales relacionados con los procesos de fabricación de materiales o aspectos históricos y su imbricación con el desarrollo de las grandes civilizaciones. Naturalmente, en la medida de lo posible, también buscaremos una vertiente lúdica, que nos aparte de los sinsabores y grandes esfuerzos intelectuales que suponen las disciplinas obligatorias.

2. METODOLOGÍA

¿Qué materiales fantásticos tomaremos como paradigmáticos? Aquellos que nos aviven la curiosidad y, al mismo tiempo, nos permitan contar aspectos históricos sobre los materiales y sobre su tecnología de una manera clara y sencilla. Tampoco descartaremos aquellos materiales fantásticos que nos ofrezcan la oportunidad de enfatizar la importancia del descubrimiento o dominio de su tecnología en el progreso de la civilización humana.

Puestos a fijar un principio, convendría remitirse al descubrimiento del fuego, porque este es el principio

transformador que interviene en la obtención, de una manera u otra, de todos los materiales: permite convertir la untuosa arcilla en barro cocido, permite extraer el metal de sus piedras minerales, fundir los metales para verterlos en un molde, endurecerlos una vez solidificados, y un largo etcétera. Naturalmente, también convendría analizar los materiales que empleó, y aún emplea, el hombre para generar fuego.

Una vez fijado el punto de partida, cabe trazar una línea más o menos cronológica: el barro cocido, el vidrio, los primeros metales, los materiales poliméricos, los materiales moleculares. Siendo flexibles es posible acomodar en este hilo cronológico una gran diversidad de materiales de interés. La propuesta de este trabajo (y la del libro en el que se basa) es seguir ese orden empleando los ganchos de la ciencia ficción y de los géneros fantásticos.

No obstante, los elementos seleccionados en ese libro son solo una sugerencia. En realidad, la temática es tan extensa que podrían proponerse muchos otros materiales de interés y que servirían igualmente al propósito buscado. En la Tabla 1 se ofrece una lista de los capítulos incluidos en el libro referido y el asunto tratado en cada uno de ellos.

Tabla 1. Relación de capítulos del libro [2] y la temática abordada en cada uno de ellos.

Capítulo	Asunto tratado
1. El oro de los dioses	La importancia del fuego. Materiales para generar fuego.
2. El vidriagón	Materiales cerámicos y el vidrio.
3. El aluminio	Metales elementales. Dificultad de extracción.
4. El oricalco	Aleaciones metálicas.
5. El acero valyrio	La historia del acero. El acero de Damasco.
6. El oro de Sauron	Envenenamiento por metales pesados.
7. El mithril	El titanio y su dificultad de extracción.
8. La piedra de Orthanc	El hormigón y el hormigón armado.
9. La piedra de Magnesia	La magnetita. El magnetismo terrestre.
10. La piedra de Asgard	Materiales ópticos polarizadores.
11. El quinto elemento	Intentos por comprender la materia.
12. La piedra filosofal	Intentos por comprender la materia.
13. El adamantio	Materiales muy duros y tenaces.
14. El vibranio	Materiales metálicos exóticos.
15. El japonio	Materiales metálicos exóticos.
16. La superaleación Z	Aleaciones metálicas exóticas.
17. El aluminio transparente	Materiales metálicos exóticos.
18. La cavorita	Materiales exóticos imposibles.
19. La piedra de Pandora	Superconductividad a temperatura ambiente.
20. La gomavol	Materiales elastoméricos exóticos.
21. El caucho Wayne	Materiales elastoméricos inteligentes.
22. El adhesivo Stark	Materiales poliméricos adhesivos.
23. El jacobio	Materiales moleculares exóticos.
24. El invisibilio	Materiales exóticos (metamateriales).
25. La polialeación mimética	Aleaciones metálicas exóticas.

3. ALGUNOS EJEMPLOS

Describiremos, a continuación, algunos ejemplos que permiten ilustrar cómo contar la historia de algunos materiales y la evolución de su tecnología a través de obras literarias, televisivas o cinematográficas. Hemos elegido solo tres casos que pueden ser considerados en cierto modo paradigmáticos: la historia del vidrio, la historia del acero y la breve historia de la superconductividad. Su elección no pretende preponderar la importancia de estos materiales, sino tan solo servir de guía y muestrario de un modo de proceder.

3.1. La historia del vidrio

El subterfugio que puede servirnos para introducir la historia del vidrio, así como de su tecnología, es el *vidriagón*, popularizado por la serie de novelas de *Canción de hielo y fuego* de George R.R. Martin y la serie de televisión basada en ellas, la popular *Juego de tronos*.

El punto de arranque podría ser tratar de descubrir qué material podría ser el *vidriagón*, identificado vagamente, tanto en la serie como en las novelas, con la obsidiana, una roca volcánica natural. El misterio a resolver es encontrar qué puede ser el *vidriagón* para que se parezca a la obsidiana, y al mismo tiempo posea un fulminante efecto sobre los temidos *Caminantes blancos*. El resto de hitos podrían articularse como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. La historia del vidrio y de su tecnología usando como hilo conductor el *vidriagón*.

PREGUNTAS OBJETIVO: ¿Qué material es el <i>vidriagón</i> ? ¿Por qué puede fulminar a los <i>Caminantes blancos</i> ? ¿Qué le permite brillar con luz propia?
Génesis de la palabra <i>vidrio</i> . Disertación sobre los términos opuestos <i>vidrio</i> vs. <i>crystal</i> . Orden y desorden atómico.
El término <i>vidriagón</i> sugiere la intervención del fuego. ¿Qué es la obsidiana? ¿Cómo se fabrica el vidrio? Temperatura necesaria para fundir la arena.
El descubrimiento del vidrio según Plinio «el Viejo». Una historia más plausible: la fayenza.
La receta ancestral (egipcia) de la fabricación del <i>vidrio común</i> . La ventaja de los óxidos modificadores.
Expansión a Roma. El «cristal» de Murano / El «cristal» de Bohemia.
La tecnología moderna. Los aditivos del vidrio para dar color.
¿Y si el <i>vidriagón</i> fuera vidrio común con adiciones de óxidos de cromo, de algunas tierras raras y uranio? ¿Y si adiciones de tierras raras lo volvieran fosforescente?

Es evidente que las preguntas iniciales (subterfugios para narrar la historia y los detalles tecnológicos del material) deben encontrar una adecuada respuesta al final. En este caso, a qué podría deberse el fulminante efecto que el

vidriagón demuestra tener sobre esos extrañísimos seres conocidos como *Caminantes blancos* y por qué el *vidriagón* puede brillar con luz propia (algo descrito en las novelas, pero no en la serie de televisión). Se plantea así un problema casi detectivesco, que permea todo el planteamiento. ¿Tiene a su alcance algún método mejor para captar y mantener la atención de sus alumnos?

3.2. La historia del acero

El *acero* es otro material paradigmático y especialmente importante en nuestra tecnología actual. El subterfugio que podemos usar para desarrollar los aspectos que consideramos relevantes de su historia y de su evolución tecnológica es el *acero valyrio*, que aparece también en la serie televisiva de *Juego de tronos* y en las novelas en las que está basada, *Canción de hielo y fuego*.

El punto de arranque podría ser tratar de descubrir qué material podría ser el *acero valyrio*, de dónde provendrían sus singulares propiedades, muy superiores a las del acero convencional, y de paso, también a qué puede deberse su también fulminante efecto sobre los temidos *Caminantes blancos*. El resto de hitos podrían articularse del modo mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3. La historia del acero y de su tecnología usando como hilo conductor el *acero valyrio*.

PREGUNTAS OBJETIVO: ¿Qué material es el <i>acero valyrio</i> ? ¿Por qué puede fulminar a los <i>Caminantes blancos</i> ?
Génesis de las palabras <i>acero</i> y <i>siderurgia</i> . Disertación sobre la importancia del hierro meteorítico.
¿Cómo extraer el hierro de sus minerales? Temperatura necesaria y el tortuoso proceso. El fabuloso descubrimiento del hierro cementado (carburizado)
El método del crisol.
Acero franco vs. Acero de Damasco. El acero de los moros en la península ibérica.
El secreto del temple. Las diferentes temperaturas del temple.
La prodigiosa receta del acero de Damasco.
La moderna tecnología del acero. El acero: un nuevo material.
¿Y si el <i>acero valyrio</i> fuera acero de Damasco con adiciones de uranio?

En este asunto cabe profundizar cuanto se desee, sin renunciar a establecer el paralelismo existente entre el *acero valyrio* y el histórico *acero de Damasco* (que muy probablemente sirvió de inspiración al creador de esta saga). El acero de Damasco ha constituido durante largo tiempo un gran misterio. Desvelar sus secretos puede resultar complejo si uno se sumerge en las características microestructurales que lo hacen posible (Hay tesis doctorales dedicadas a ello [3]). Queda a su elección el grado de profundidad con el que debe tratar este aspecto.

No obstante, no debe olvidar que la historia del hierro, del acero y del acero de Damasco, constituyen por sí mismas increíbles aventuras. La gente de a pie no es consciente de la proeza que supuso para el ser humano el dominio del acero, por lo que no está de más insistir en esa gesta.

3.3. La superconductividad a temperatura ambiente

La superconductividad sigue resultando un fenómeno bastante misterioso. A ello contribuye, sin duda, el hecho de que aún hoy carezcamos de modelos teóricos capaces de explicar el fenómeno en la totalidad de los materiales en que se presenta. Más misterioso, si cabe, es la aparente imposibilidad de encontrar materiales superconductores a temperatura ambiente.

En la galardonada película *Avatar* (dirigida por James Cameron) constituye un elemento trascendente del argumento un material extraño y muy codiciado, *el inobtenio* (*unobtainium* en la versión original), capaz de exhibir superconductividad a temperatura ambiente. Este material puede ser el subterfugio perfecto para contar la historia y el potencial impacto tecnológico de la superconductividad y, además, indagar en la cuestión clave de qué material podría ser el *inobtenio* y qué propiedades exhibiría. Este podría ser el punto de arranque; el resto de hitos podrían articularse del modo mostrado en la Tabla 4.

Tabla 4. La historia y la tecnología de los materiales superconductores.

PREGUNTAS OBJETIVO: ¿Qué material es el <i>inobtenio</i> ? ¿Qué es la superconductividad? ¿Cómo reconocer un superconductor a temp. ambiente?
El descubrimiento de la superconductividad. La ayuda fortuita de la carrera por licuar los gases.
Metales y óxidos superconductores. La fastidiosa temperatura crítica.
El efecto Meissner. Diamagnetismo perfecto. Levitación de las montañas Aleluya en Pandora.
Efectos de la superconductividad sobre la vida.
El riesgo de vivir en Pandora.
¿Existirá algo similar al <i>inobtenio</i> ?

Bajo el pretexto de explicar el *inobtenio* se podrían abordar infinidad de temas relacionados con la superconductividad: las expectativas frustradas, la aparente imposibilidad de reducir la temperatura crítica, las tentativas fallidas de proponer modelos teóricos que la expliquen en todos los casos, las numerosas aplicaciones potenciales que se beneficiarían de la existencia de materiales superconductores a temperatura ambiente, las aplicaciones tecnológicas que ya son una realidad, y otras muchas.

3.4. Formatos de presentación

El formato de presentación de estas discusiones puede ser diverso; desde una presentación en seminario o charla por parte del Profesor, hasta trabajos de alumnos (en grupo o individuales) de los temas propuestos por el Profesor. Esos trabajos podrían ser, posteriormente, expuestos y defendidos en gran grupo. Este formato, obviamente, se adaptaría mejor en asignaturas optativas, con formato más libre.

Tanto en el formato de charlas/seminarios o en el de trabajos de exposición por alumnos se podrían incluir imágenes y vídeos de referencias cinematográficas conocidas, que ilustrasen ciertas afirmaciones, sirvieran de apoyo documental o permitieran abrir un debate y discusión posterior. Las posibilidades son muchas.

4. CONCLUSIONES

Las obras de ciencia ficción y de fantasía constituyen una vasta y muy atractiva fuente de recursos, para servir de gancho, excusa o subterfugio con objeto de captar el interés de los estudiantes sobre determinados aspectos concernientes a los materiales, sobre todo a su historia y al devenir de la tecnología actual. Algunos de los materiales descritos en las obras de ficción pueden servir para poner a prueba los conocimientos adquiridos y discernir lo factible en el momento tecnológico actual, de lo plausible a corto plazo y de lo descartable completamente a la luz de nuestro conocimiento científico presente. La experiencia de los autores es positiva con este planteamiento, que puede añadirse a asignaturas troncales, bajo el formato de seminarios, o en asignaturas optativas con formato más libre. No es necesario partir de cero en esta aventura; el libro de la referencia [2] puede resultarle de ayuda, como lo demuestra el hecho de que recientemente haya sido adoptado como material de apoyo en el Trabajo Fin de Máster [4]. También encontrará en este trabajo interesantes sugerencias y actividades, algunas en línea con la aquí propuesta: desarrollar pensamiento crítico acerca de los materiales, con base en su historia conocida, y especular cuál podría ser el futuro en lo que a los materiales concierne.

5. REFERENCIAS

- [1] M. Moreno, J. José, *La ciencia de la ciencia-ficción: Cuando Hawking jugaba al póker en el Enterprise*. Editorial Shackleton books, 2019.
- [2] J.M. Montes, F. Ternero, *Ciencia de los materiales fantásticos*, Editorial Paraninfo, Madrid, 2019.
- [3] *Claves metalúrgicas de la fabricación de espadas con acero de Damasco (Al-hindi) según el taller persa medieval del shamshirsaz Assad Allâh de Isfahân*, Laura García Sánchez; dirigida por A.J. Criado. (Accesible desde internet).
- [4] V. Díaz del Campo y M.J. Baena Alonso (tutora), *Los nuevos materiales en el currículo de ESO y bachillerato. Propuesta de unidad didáctica*, Trabajo Fin de Máster, Univ. de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/38527>.

I+D+i EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES**PROGRAMA DE I+D: “ADDITIVE MANUFACTURING: FROM MATERIAL TO APPLICATION” (ADITIMAT-CM)****M. Verde¹, M. Mohedano², J. Rams¹**¹Universidad Rey Juan Carlos, maria.verde@urjc.es, joaquin.rams@urjc.es²Universidad Complutense de Madrid, mmohedan@ucm.es

Resumen: ADITIMAT-CM es un Programa de I+D cuyo objetivo es el desarrollo de nuevos materiales, procesos y tratamientos para fabricación aditiva. Coordinado desde la Universidad Rey Juan Carlos, cuenta con la participación de grupos de investigación y laboratorios de la Universidad Carlos III, Universidad Complutense y Universidad Politécnica de Madrid, así como el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC. Está financiado por la Comunidad de Madrid y la Unión Europea a través de Fondo Social Europeo y FEDER para el período 2019-2022 (Ref. S2018/NMT-4411).

Palabras clave: fabricación aditiva, nuevos materiales, materiales multifuncionales, impresión 3D

1.- ¿QUÉ ES ADITIMAT-CM?

ADITIMAT-CM (Additive Manufacturing: from Material to Application) es un Programa de I+D entre grupos y laboratorios de la Comunidad de Madrid para el desarrollo conjunto de nuevos materiales, procesos y tratamientos para fabricación aditiva (FA), añadiendo multifuncionalidad y mejorando las propiedades de las piezas fabricadas mediante este sistema.

El Programa está financiado por la Comunidad de Madrid y la Unión Europea a través de Fondo Social Europeo y FEDER para el período 2019-2022 dentro de la convocatoria de “Programas de I+D en Tecnologías 2018”, y supone un marco de trabajo idóneo para el avance científico y el traslado de resultados a la industria y la sociedad en general. Las sinergias entre grupos y laboratorios optimizan el uso de recursos y los resultados obtenidos a partir del Programa científico se trasladan a industria y sociedad mediante convenios de colaboración con empresas y actividades de formación y difusión.

2.- ¿QUIÉN PARTICIPA Y CÓMO SE GESTIONA?

El programa cuenta con la participación de un consorcio interdisciplinar [1] integrado por grupos de investigación y laboratorios de la Universidad Rey Juan Carlos, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Complutense y Universidad Carlos III de Madrid, así como el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC (Figura 1). Actualmente cuenta con 84 miembros, de los cuales 60 son doctores. Además, cuenta con el apoyo de 24 empresas a nivel internacional, interesadas en colaborar con el programa científico y en la aplicación de los resultados obtenidos.

Las interacciones entre grupos y laboratorios están coordinadas por el Comité de Gestión, cuyas principales tareas son:

- Gestión de la financiación obtenida a través de la Comunidad de Madrid y la Unión Europea, así como la captación de fondos adicionales a través de convocatorias públicas y privadas,
- Captación y gestión de recursos,
- Difusión de actividades y resultados, a través de programas de formación, actividades de divulgación científica, redes sociales, etc.
- Impulso de convenios y acuerdos de colaboración con empresas y otras entidades.



Figura 1. Grupos de investigación y laboratorios participantes en ADITIMAT-CM.



Figura 2. Objetivos del Programa Científico de ADITIMAT-CM.

3.- OBJETIVOS DEL PROGRAMA

La fabricación aditiva está considerada actualmente como un elemento clave en el futuro de la industria, pero gran parte de las piezas fabricadas presentan propiedades mecánicas, de resistencia en ambientes agresivos y de funcionalización inferiores a las obtenidas con tecnologías convencionales.

El Programa tiene como objetivo principal la creación de un marco de colaboración interdisciplinar para dar respuesta a estos problemas e impulsar la generalización y el conocimiento de esta tecnología.

Para ello, se trabaja en tres vías principales:

1. **Desarrollo de los objetivos científico-técnicos**, que abarca desde el desarrollo de nuevos materiales (metálicos, metal-cerámicos, cerámicos y de matriz polimérica) a la adaptación y mejora de los procesos de FA, técnicas de post-procesado para la mejora de características e incorporación de nuevas funcionalidades, evaluación de propiedades y finalmente, su aplicación a distintos sectores (energía, transporte, salud). La Figura 2 muestra un resumen de los objetivos específicos en las diferentes áreas de conocimiento que integran el proyecto. Como ejemplo del resultado del objetivo de desarrollo de nuevos materiales por FA, se muestra una pieza fabricada por miembros del consorcio (Figura 3) y una micrografía óptica de la aleación Al10Si1Mg fabricada aditivamente (Figura 4).
2. **Desarrollo de actividades de formación, difusión y coordinación.** Los resultados científicos se divulgan a través de programas de formación (máster, doctorado, cursos y seminarios) y medios de comunicación como la web, redes sociales y publicaciones. Además, se organizan eventos de formación y divulgación del conocimiento en fabricación aditiva.
3. **Incorporación de personal cualificado:** la contratación de investigadores pre y postdoctorales, técnicos de laboratorio y un gestor científico ha sido posible gracias al Programa.

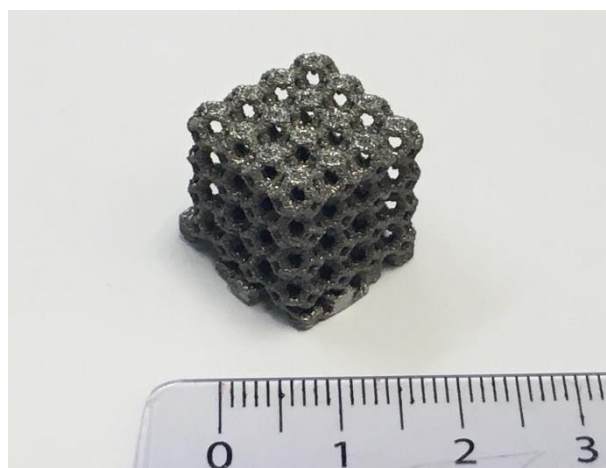


Figura 3. Pieza realizada con tecnología de fabricación aditiva en la URJC.



Figura 4. Micrografía óptica de la aleación Al10Si1Mg-FA realizada en el grupo CCRM-UCM.

4.- VÍAS DE COLABORACIÓN

El Programa está abierto a la colaboración a través de diferentes vías:

- **Desarrollo de proyectos de investigación y transferencia tecnológica** conjuntos con otros grupos de investigación, empresas y centros tecnológicos.



Figura 4. Participantes en la I Reunión Anual del Programa ADITIMAT-CM, que reunió a 67 investigadores procedentes de todos los grupos de investigación y laboratorios del consorcio.

- grupos de investigación, empresas y centros tecnológicos.
- **Prestación de servicios técnicos** a través de los laboratorios que integran el consorcio [2].
- **Participación en actividades de formación** abiertas a distintos públicos [3].
- **Participación en actividades de difusión** para público general.

5.- DIFUSIÓN

Toda la información relacionada con el Programa ADITIMAT-CM está disponible en la página web www.aditimat.org, y los detalles sobre eventos, resultados y ofertas de empleo se difunde a través de las cuentas en las redes sociales (Figura 5): Twitter [4] y Research Gate [5]. Además, cualquier persona interesada puede contactar a través del correo info@aditimat.org.

6.- EVENTOS

Cada año se celebra la **Reunión Anual del programa ADITIMAT-CM**, encuentro en el que se presentan los resultados más relevantes y líneas de investigación en desarrollo de cada grupo participante. La I Reunión, que dio comienzo al Programa, tuvo lugar el 22 de mayo de 2019 en el campus de Móstoles de la URJC y contó con la asistencia de más de 60 investigadores (Figura 4).

7.- CONCLUSIONES

ADITIMAT-CM constituye un marco de trabajo multidisciplinar para el avance tecnológico en el ámbito de la fabricación aditiva. Los grupos de investigación y laboratorios que componen el consorcio aúnan esfuerzos, capacidades, experiencia y recursos humanos y técnicos para desarrollar un ambicioso proyecto científico y un

programa de actividades de formación, difusión y transferencia de resultados que revierten en todos los sectores de la sociedad.

¡Síguenos en nuestras redes y visita nuestra web!



www.twitter.com/ADITIMAT_CM



www.researchgate.net/project/ADITIMAT-Additive-Manufacturing-from-Material-to-Application



www.aditimat.org

Figura 5. Medios de difusión del Programa.

8. AGRADECIMIENTOS

El Programa ADITIMAT-CM agradece su apoyo a la Comunidad de Madrid y la Unión Europea, por la financiación de sus actividades durante el período 2019-2022, bajo el paraguas de la convocatoria “Programas de Actividades de I+D entre grupos y laboratorios de la Comunidad de Madrid en Tecnologías 2018” (Ref. S2018/NMT-4411).

9. REFERENCIAS

- [1] <http://www.aditimat.org/consortium/>
- [2] <http://www.aditimat.org/technology-offers/>
- [3] <http://www.aditimat.org/teaching/>
- [4] http://twitter.com/aditimat_cm
- [5] <http://www.researchgate.net/project/ADITIMAT-Additive-Manufacturing-from-Material-to-Application>

I+D+i EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES**LA PLATAFORMA TEMÁTICA INTERDISCIPLINAR DEL CSLC PARA EL DESARROLLO DE LA FABRICACIÓN ADITIVA COMO EJEMPLO DE COLABORACIÓN PÚBLICO-PRIVADA*****J. de Damborenea¹, C. Capdevilla², I. García¹***¹ Departamento de Ingeniería de Superficies, Corrosión y Durabilidad² Departamento de Metalurgia Física

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas CENIM-CSIC

Av. Gregorio del Amo 8 – 28040 Madrid

Correspondencia a: jdambo@cenim.csic.es

Resumen: La Plataforma Temática Interdisciplinaria para el desarrollo de la Fabricación Aditiva (FAB3D) pretende aunar el conocimiento generado en la Academia (CSIC, Universidad, Centros Tecnológicos) con la experiencia y la capacidad innovadora de la Industria, lo que ayudará a dar un salto cualitativo en los procesos de fabricación. Para ello se pretenden desarrollar las técnicas de fabricación aditiva tanto en materiales metálicos como en poliméricos o cerámicos, poniendo a disposición de la industria española la investigación que se realiza en nuestros desde una perspectiva global: desde el concepto hasta la funcionalización final de la pieza que se quiere incorporar al proceso productivo.

Palabras clave: Fabricación aditiva, Industria 4.0, diseño, funcionalización.

1. INTRODUCCION.

En enero del 2020, la consultora McKinsey & Company presento su informe “Industry’s fast-mover advantage: Enterprise value from digital factories” en el que se plasma que las industrias que ya han introducido las tecnologías digitales de la Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0) en sus procesos están teniendo una ventaja competitiva considerable con respecto a sus competidores. Esta ventaja inicial genera no sólo más valor para sus propias empresas sino también para la Sociedad en su conjunto [1]. Además, una de las principales conclusiones de este informe es que las empresas que no se unan a esta nueva revolución industrial se les acaba su tiempo. Este informe se suma a los numerosos estudios científicos y económicos que se han publicado en la última década y que abordan no solo aspectos técnicos sino el profundo impacto de estas tecnologías. Impactos por ejemplo en la salud y bienestar de la población, el impacto ambiental, o la posibilidad de revolucionar la distribución de productos a través de la reconfiguración de la cadena de suministro [2].

Sin embargo, aún hay tiempo para reaccionar y posicionarse en este mercado emergente. Para lograr este fin las empresas deben integrar en sus sistemas de producción máquinas y tecnologías digitales, redefiniendo el papel de va a realizar el personal técnico.

La fabricación aditiva, conocida por sus siglas en inglés AM, es uno de los pilares básicos de esta nueva revolución industrial. Se espera que Europa sea, en los

próximos años, el motor mundial de la fabricación aditiva, seguida de EE.UU. El informe Wohlers 2018 prevé un crecimiento de la fabricación aditiva hasta situarla en torno a los 6.300 millones de euros. En el caso de España, de más reciente incorporación a este tipo de tecnologías disruptivas, el volumen de negocio se cifra en unos 100 millones de euros pero con una generación de empleo aun inferior al millar de personas [3].

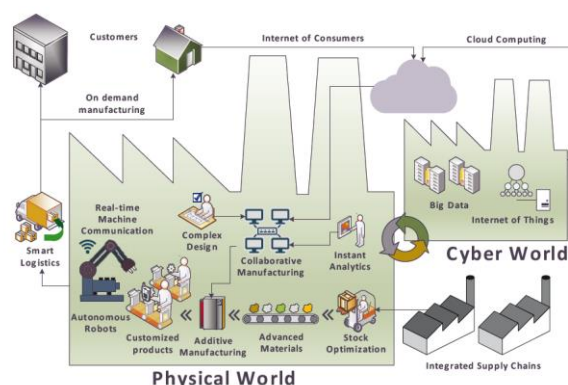


Figura 1. Esquema de las factorías inteligentes con los requisitos requeridos por la industria 4.0 (extraído de referencia [4])

Pero esta revolución tecnológica presenta todavía importantes retos que superar. Por un lado, esta nueva adaptación al sistema productivo va a requerir de cambios en el esquema del sistema productivo actual. Se va a necesitar que las personas que se incorporen al proceso productivo tengan una preparación diferente a

la que se requería hasta ahora. Como se reconocía en el informe CECIMO de la European Association of the Machine Tool Industry and related Manufacturing Technologies [5], “la falta de habilidades técnicas en el área de la AM sigue siendo uno de los mayores obstáculos para el crecimiento de esta tecnología”. Por otra, tanto el diseño como las propiedades de las piezas que se quieran introducir en el mercado, deben pasar por un cuidadoso proceso de investigación, desarrollo y certificación previa.

2. La Plataforma Temática Interdisciplinar FAB3D del CSIC.

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, el mayor organismo público de investigación de España, tienen encomendado en su Estatuto “el contribuir al avance del conocimiento y al desarrollo económico, social y cultural, así como a la formación de personal y al asesoramiento a entidades públicas y privadas en estas materias”. Dentro de este contexto general, el CSIC ha planteado la creación de una serie de Plataformas Tecnológicas Interdisciplinares, orientadas a resolver los retos planteados por la Sociedad actual. Retos que deben combinar investigación y empresas en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU y con las misiones de investigación del futuro programa marco de I+D+I de la Unión Europea (Horizonte Europa).

La plataforma FAB3D ha surgido para colaborar con la industria española en el desarrollo e implantación de la Fabricación Aditiva. Actualmente está compuesta por 19 grupos de investigación del CSIC que aportan experiencia y conocimiento en los distintos materiales (metales, polímeros, cerámicos, etc) sobre los que se pretende trabajar. Complementados, además, por grupos con experiencia en la investigación de nuevos láseres o en la automatización de procesos complejos. En la tabla adjunta se presentan estos grupos si bien debe indicarse que no se trata de una propuesta cerrada sino abierta a nuevos grupos que quieran incorporarse a esta iniciativa. Un punto fuerte de estos grupos es el que poseen amplios conocimientos en la caracterización de materiales (desde biomateriales a microelectrónica pasando por materiales estructurales o funcionales) así como en los distintos focos sobre lo que gira el proceso de fabricación aditiva, figura 2. La plataforma tiene, además, capacidad para el diseño y preparación de polvos, tintas, filamentos, etc, lo que abre nuevas vías en el proceso de fabricación. A la posibilidad de producir filamentos poliméricos o polvos metálicos, que permitirá diseñar nuevos materiales, se une la experiencia en operaciones de post-procesado mediante tratamientos térmicos o superficiales, junto con la caracterización de las piezas producidas (especialmente en las propiedades críticas para piezas 3D).

La PTI-FAB3D se ha planteado los siguientes objetivos iniciales:

- Ser un foro que ayude a definir tanto líneas de investigación como de política científica del CSIC y de las agencias financiadoras.

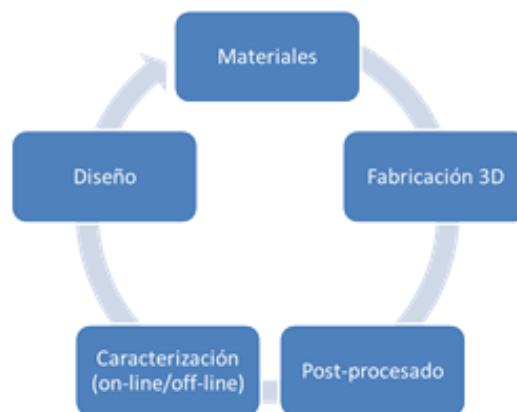


Figura 2. Proceso de fabricación aditiva.

- Debater entre grupos de investigación y empresas sobre problemas específicos que puedan abordarse mediante propuestas de proyectos y contratos. La colaboración entre los grupos del CSIC podrá armar equipos de investigación más amplios y pluridisciplinarios que los haga más competitivos.
- Identificar debilidades en las infraestructuras científicas, técnicas y recursos humanos del CSIC para que la política científica del CSIC pueda resolverlo y hacer al CSIC más competitivo en el proceso integral de las tecnologías de fabricación aditiva.
- Desarrollar las tecnologías de fabricación aditiva según los principios de Responsabilidad Social de la Ciencia y la Tecnología y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

3. Colaboración con el sector industrial

Como hemos comentado, la Plataforma FAB3D pretende ser un foro de debate que permita dar solución a los retos científico-tecnológicos que obstaculizan la plena implantación de la fabricación aditiva. Las ventajas para el sector industrial son evidentes: menor cantidad de materia prima por unidad producida, reducción del consumo energético, disminución del número de piezas en los stocks de producción, fabricación personalizada y, finalmente, procesos ambiental y socialmente sostenibles.

Para ello es necesario que el conocimiento científico-técnico generado por los grupos de investigación del CSIC impulsores de esta plataforma, conecte con los retos y necesidades de la industria. Por ello será necesario estar presente en las iniciativas dirigidas a empresas, como la **Acción estratégica industria conectada 4.0** de la Secretaría General de Industria y Pequeña y Mediana Industria, que tengan como objetivo fundamental incrementar el valor añadido y el empleo en el sector industrial español. Creemos que la Plataforma puede contribuir a promover acciones competitivas diferenciales para favorecer la industria española e impulsar sus exportaciones. En la siguiente tabla se presentan las empresas actualmente involucradas en la creación de la Plataforma

Empresa	Sector
Renishaw	Diseño y fabricación de sistemas de fabricación aditiva
Gonvarri	Transformación del acero plano y aluminio
John Deere	Fabricación de maquinaria agrícola
ArcelorMittal	Producción de acero y aceros especiales
BATZ	Productos y servicios para automoción
Acerinox	Fabricación de aceros inoxidables
SIDENOR	Producción de aceros y piezas forjadas.
Airbus	Diseño, fabricación y venta aviones civiles.
DomoTek	Impresión 3d, prototipado rápido en polímeros
3r3d	Fabricación de filamentos para impresión 3D
Alíberico/Alucoat	Fabricación de Materiales Avanzados de Aluminio
Arô Company	Marketing y diseño
CTID	Servicios de ingeniería de diseño y cálculo
PLATEA	Plataforma Tecnológica Española del Acero
UNESID	Asociación de Empresas Productoras de Acero
EDDM Training	Escuela de formación superior en ingeniería
Adatica Engineering	Proyectos de ingeniería y fabricación

Como puede apreciarse, la interacción entre la comunidad científica y la industria se establece en base a un carácter multidisciplinar y multisectorial. En esta plataforma se integran fabricantes de equipos originales (OEM), proveedores de materiales y productores de una amplia gama de bienes de consumo e industriales. Esta industria abarca varios sectores, como maquinaria industrial, aviación, salud, herramientas, fabricación de metales, electrónica, moda, infraestructuras, etc.

Un ejemplo de la fabricación de este tipo de materiales con interés tecnológico se recoge en la figura 3, donde se muestra un disco sólido, un scaffold y un pin hechos mediante la técnica de “Direct metal laser sintering (DMLS) con polvos de Ti6Al4V, con aplicaciones tanto en la industria biomédica como en la aeroespacial.

Es importante recalcar que la Plataforma no pretender “producir” (ni tan siquiera pequeñas series), dado que entendemos que esa es la tarea de la industria. Nuestra meta es proporcionar los estudios básicos que permitan a las empresas la fabricación de piezas reales con diseños y propiedades mejoradas.

Grupo de investigación CSIC en FAB3D	
Transformaciones de Fase en Estado Sólido (MATERIALIA)	CENIM
Corrosión y Protección de Materiales Metálicos (COPROMAT)	CENIM
Materiales Metálicos Procesados por Técnicas de no Equilibrio (MANOEQ)	CENIM
Propiedades Mecánicas y Conformado (PROMECO)	CENIM
Materiales Avanzados de Alto Valor Añadido (AVANZA)	CENIM
Cerámica técnica	ICV
Síntesis y procesado coloidal	ICV
Funcionalización de Polímeros	ICTP
Composites polimericos	ICTP
Biomateriales	ICTP
Ingeniería macromolecular	ICTP
Sistemas Poliméricos Nanoestructurados y Multicomponentes	ICTP
Química Laser	ICMA
Cristales líquidos y polímeros	ICMA
Advanced Automation of Machines, Highly Complex Processes and Environments	CAR
Surface Nanostructuring for Space and Terrestrial Communications	ICMM
Grupo de Exposición Ocupacional a Contaminantes en el Aire	IDAEA
Grupo de Reciclado de Materiales	IETCC
Laboratorio de Morfología Virtual	MNCN

Los países pueden producir más por menos especializándose en lo que hacen mejor y explotando economías de escala en los mercados mundiales. Y no solo las grandes empresas se benefician de este proceso. El 80% de los exportadores europeos son pequeñas y medianas empresas (PYME) y cada mil millones de euros de exportaciones respaldan 14 000 empleos. Sin embargo, estos beneficios no son automáticos ni se distribuyen de manera uniforme. Los costes son a menudo localizados y algunas industrias y regiones se ven especialmente afectadas. La demanda de mano de obra cualificada ha aumentado, pero la cantidad de empleos para aquellos con cualificaciones de nivel más bajo se ha reducido, particularmente en el sector

manufacturero. Los trabajadores desplazados luchan por encontrar trabajo, especialmente cuando esto significa adquirir nuevas habilidades.

Como ya se ha descrito, una de las actividades de la plataforma FAB3D es potenciar la formación de personal cualificado y preparado para implantar esta tecnología de fabricación en todos los sectores implicados. Programas como el Doctorado Industrial, donde la colaboración a tres partes entre una empresa, el CSIC y una universidad que flexibiliza sus programas de formación a las necesidades actuales de la industria, como puede ser la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) o la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP), podría constituir el marco adecuado para este fin.

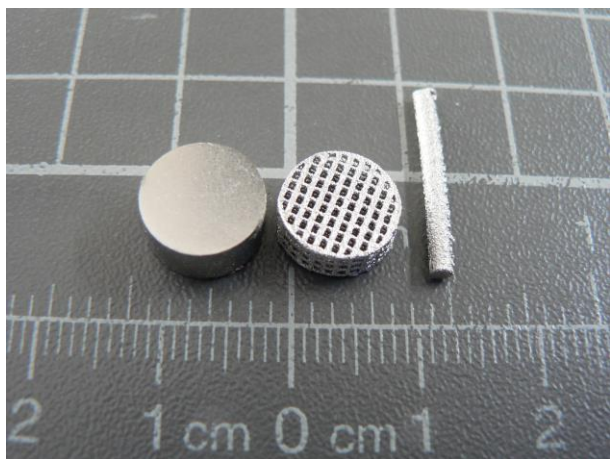


Figura 3. Discos sólidos, scaffold y pin de la aleación Ti6Al4V producidos por Fabricación Aditiva.

4. Retos de la Fabricación Aditiva

A pesar de que las tecnologías de fabricación aditiva tienen ya un cierto grado de implantación industrial y que la propia tecnología puede considerarse en un estado avanzado de desarrollo, siguen existiendo retos importantes que abordar. Entre ellos destacamos los que, a nuestro juicio, tendrá que abordar la Plataforma:

- Incertidumbre en el alcance e impacto en la industria y en la sociedad
- Limitaciones tecnológicas: ampliar el rango de materiales incluyendo compuestos y materiales funcionales gradiente.
- Desarrollo de equipamiento y software.
- Efectos sobre la salud (empleo de partículas ultrafinas/nanopartículas)
- Estudios más profundos sobre consumo energético y huella de carbón de la manufactura aditiva.

Para superar estos retos, hay un último factor en el que la Plataforma debe incidir de manera especial: potenciar la formación de personal cualificado y preparado para implantar esta tecnología de fabricación en todos los sectores implicados. Desde FAB3D se desea fomentar la implantación de cursos de especialización, participar en programas universitarios, como el Doctorado Industrial,

y realizar seminarios y jornadas de actualización técnica para el personal de la industria.

5. Conclusiones

La fabricación aditiva cambiará profundamente la producción y tendrá consecuencias radicales para la fuerza laboral de Europa, necesitándose empleos altamente calificados. Pero por otro lado el uso de esta tecnología fomentará la fabricación local (de proximidad) y ofrecerá la oportunidad de retener empleos tanto a nivel nacional como europeo.

Somos conscientes de que esta Plataforma sólo tendrá éxito si es capaz de fomentar una colaboración activa entre las empresas participantes (y las que se pudieran incorporar), el CSIC y las universidades que se integren en la Plataforma. Es necesario, además, que los centros universitarios flexibilicen sus actuales programas de formación a las necesidades actuales de la industria y que desde el CSIC se fomente la realización de cursos específicos.



Plataforma CSIC para el Desarrollo de la Fabricación Aditiva

<https://pti-fab3d.csic.es>

6.- REFERENCIAS

- [1] F. Betti, E. de Boer, Y. Giraud "Industry's fast-mover advantage: Enterprise value from digital factories. McKinsey&Company, January 2020. Disponible en <https://www.mckinsey.com/>
- [2] Huang, S.H., Liu, P., Mokasdar, A. et al. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. Int J Adv Manuf Technol 67, 1191–1203 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>
- [3] ICEX, Fabricación aditiva, un futuro de impresión... en 3D. El Exportador, noviembre 2018. Disponible en www.icex.es
- [4] U. M. Dilberoglu, B. Gharehpapagh, U. Yaman, M. Dolen. "The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0" Procedia Manufacturing 11 (2017) 545 – 554
- [5] European Association of the Machine Tool Industry and related Manufacturing Technologies, Activities Report 2018. Disponible en www.cecimo.eu/wp-content/uploads/2019/03/AM-Activities-Report-2018.pdf

NORMAS DE PRESENTACION DE LA REVISTA “MATERIAL-ES”

A. Pérez¹, M. Martínez¹, J. López²

¹Centro y dirección 1, antper@unizere.es

²Centro y dirección 2

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.

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

1. EXTENSIÓN.

Se admitirán trabajos completos de hasta 4 páginas (máximo) 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 10 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 encabezado de cada apartado y el texto.

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. 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 ponente. La dirección de cada centro, en su caso, se incluirá en una línea diferente. Times New Roman 11.

5.- RESUMEN.

No excederá las 150 palabras en la versión castellano. Se colocará debajo de los autores tras 4 líneas en blanco. 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.

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.

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, 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.

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

A. Pérez¹, M. Martínez¹, J. López²

1 Group and address 1, antper@unizere.es

2 Group and address 2

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.

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

1. EXTENSION.

Full papers of up to 4 pages (maximum) including all sections will be accepted, according format to these rules. For a correct processing, the resulting file size must be less than 10 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 heading of each section and the text.

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. Times New Roman font size 11 **bold, italics and lowercase**. The name of the author presenting the work should be underlined, and membership in 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. 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. The main text in double column will begin after the keywords and 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.

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.

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.

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.