

Rosana Satorre Cuerda (Ed.)

Nuevos retos educativos en la enseñanza superior frente al desafío COVID-19

Rosana Satorre Cuerda (Ed.)

Nuevos retos educativos en la enseñanza superior frente al desafío COVID-19

Octaedro 
Editorial

UA

UNIVERSITAT D'ALACANT
UNIVERSIDAD DE ALICANTE
Vicerectorat de Transformació Digital
Vicerectorado de Transformación Digital
Institut de Ciències de l'Educació
Instituto de Ciencias de la Educación

Nuevos retos educativos en la enseñanza superior frente al desafío COVID-19

EDICIÓN:

Rosana Satorre Cuerda

Revisión y maquetación: ICE de la Universidad de Alicante

Primera edición: octubre de 2021

© De la edición: Rosana Satorre Cuerda

© Del texto: Las autoras y autores

© De esta edición:

Ediciones OCTAEDRO, S.L.

C/ Bailén, 5 – 08010 Barcelona

Tel.: 93 246 40 02 – Fax: 93 231 18 68

www.octaedro.com – octaedro@octaedro.com

ISBN: 978-84-19023-19-3

Producción: Ediciones Octaedro

La revisión de los trabajos se ha realizado de forma rigurosa, siguiendo el protocolo de revisión por pares.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos de los textos publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de los autores.

33. Integración de herramientas de impresión 3D y simulación en la enseñanza experimental de los materiales compuestos

Maiorano Lauria, Lucila Paola; Verdú Molina, Noelia; Sabater, Carlos; Calvo Urbina, María Reyes; Molina Jordá, José Miguel

Universidad de Alicante

RESUMEN

Los materiales compuestos constituyen un bloque temático importante en las asignaturas Sólidos Inorgánicos (Grado en Química) y Ciencia de los Materiales (Grado en Química y Grado en Física) impartidas en la Universidad de Alicante. En los últimos años, el profesorado responsable de dichas asignaturas ha constatado que los estudiantes presentan dificultades en la comprensión del temario relacionado con los materiales compuestos y sus propiedades mecánicas. Hasta el momento, el desarrollo de dichos conceptos se había visto limitado a clases teóricas ya que no había sido posible trabajar con materiales compuestos en el laboratorio por su laboriosa fabricación y elevado coste de adquisición. Estas dificultades han motivado el desarrollo del presente trabajo, cuyo objetivo es el de aumentar el aprendizaje del estudiantado mediante: i) la utilización de herramientas de impresión 3D para la fabricación rápida y de bajo coste de materiales compuestos, ii) la predicción de sus propiedades mecánicas por simulación, y iii) su caracterización mecánica en el laboratorio. La experiencia, de carácter principalmente virtual, se realizó con estudiantes voluntarios y su evaluación se llevó a cabo mediante cuestionarios y encuestas de satisfacción. Además de representar una alternativa a las prácticas de laboratorio convencionales que requieren elevada presencialidad en épocas de pandemia, la experiencia ha fomentado el aprendizaje de los estudiantes.

PALABRAS CLAVE: materiales compuestos, impresión 3D, simulación, laboratorio, experiencia educativa.

1. INTRODUCCIÓN

La Ciencia de los Materiales es una disciplina íntimamente ligada con la investigación. Ésta se encuentra en constante evolución, en busca de nuevos materiales que proporcionen propiedades superiores con el fin de satisfacer las demandas del creciente desarrollo tecnológico. Dentro de la investigación en materiales avanzados destacan los materiales compuestos (MCs), que resultan de gran interés para numerosas aplicaciones. Los materiales compuestos se conforman por dos o más materiales con propiedades físicas o químicas diferentes con el objeto de conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales, pero destacan, sobre todo, por sus excelentes prestaciones mecánicas, térmicas, eléctricas y ópticas. En su forma más simple, los materiales compuestos están formados únicamente por dos fases: una continua denominada matriz y otra dispersa conocida como refuerzo. Cada una de ellas posee unas propiedades bien definidas: la matriz configura geoméricamente la muestra y da cohesión al material, mientras que el refuerzo proporciona las propiedades mecánicas.

En el marco de la enseñanza universitaria, los materiales compuestos constituyen un bloque temático importante en las asignaturas Sólidos Inorgánicos -SI- (2º curso del Grado en Química), Ciencia de los Materiales -CMQ- (4º curso del Grado en Química) y Ciencia de los Materiales -CMF- (4º curso del Grado en Física), todas ellas impartidas en la Universidad de Alicante -UA- (Universidad de Alicante,

2021). En los últimos años, el profesorado responsable de dichas asignaturas ha constatado que el estudiantado presenta ciertas dificultades en la comprensión del temario relacionado con los materiales compuestos y sus propiedades mecánicas. El desarrollo de dichos conceptos se había visto limitado a meras clases teóricas ya que, hasta el momento, no había sido posible trabajar con materiales compuestos en el laboratorio. La fabricación convencional de materiales compuestos conlleva manipulaciones relativamente complejas, rigurosas y requieren de amplios tiempos de procesado, lo cual excede al marco de las prácticas en estas asignaturas. Así mismo, resultan caros para su adquisición como material de prácticas ya que su evaluación mecánica implica la realización de ensayos destructivos.

En los últimos años, la impresión tridimensional (3D) se ha convertido en una tecnología altamente útil para la enseñanza, en concreto, en el campo de las ciencias aplicadas (Pinger et al., 2020; Renner & Griesbeck, 2020). En muchas ocasiones, la impresión 3D ha permitido mejorar la comprensión de conceptos complejos por parte del estudiantado al poder visualizar y manipular los objetos ya no en un papel, sino en tres dimensiones (Pinger et al., 2020). La bibliografía refleja numerosos ejemplos de educadores que han recurrido a la impresión 3D para aumentar el aprendizaje de los estudiantes, como la visualización de prototipos de modelos y orbitales moleculares (Meyer, 2015; Paukstelis, 2018; Penny et al., 2017), la interpretación del enlace atómico (Sabater et al., 2020) y diseño e impresión de equipos, componentes de equipos y experimentos (Porter et al., 2016; Renner & Griesbeck, 2020; Schmidt et al., 2018).

Debido a las dificultades de comprensión que presentan los estudiantes de las asignaturas SI, CMQ y CMF, probablemente justificadas por la falta de razonamiento visual y espacial de los materiales compuestos, se desarrolló la siguiente propuesta. En esta se plantea la utilización de la tecnología de impresión 3D para la fabricación y caracterización mecánica de materiales compuestos junto con la simulación computacional como apoyo conceptual, con el objetivo de aumentar el aprendizaje y, por tanto, el rendimiento académico del estudiantado. La presente experiencia educativa representa, en posibles épocas difíciles como la de la pandemia, una alternativa a las prácticas de laboratorio convencionales que requieren elevada presencialidad. Para ello, se recurrió a: i) el uso del software FreeCAD para diseñar y predecir las propiedades mecánicas de los materiales compuestos, ii) el uso del software Cura para comandar la impresora 3D y obtener los modelos tridimensionales, iii) la caracterización mecánica experimental de los materiales fabricados mediante flexión a tres puntos y iv) el análisis crítico y comparativo de los resultados experimentales y predichos.

2. MÉTODO

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

La presente experiencia educativa fue llevada a cabo por el profesor de las asignaturas “Sólidos Inorgánicos- Grado en Química” y “Ciencia de Materiales- Grado en Química y Grado en Física” -JMMJ-, que pertenece al Departamento de Química Inorgánica, dos profesores de la asignatura “Ciencia de Materiales- Grado en Física” que pertenecen al Departamento de Física Aplicada -CSP y MRCU-, una alumna de master de Ciencia de Materiales -NVM- y una alumna de doctorado de Ciencia de Materiales -LPML-, todos miembros de la UA. La experiencia fue puesta en marcha con la participación de 22 estudiantes voluntarios matriculados en las tres asignaturas durante el curso académico 2020-2021.

2.2. Instrumentos

Para el desarrollo de la experiencia educativa se recurrió a distintos tipos de instrumentos. El diseño de materiales compuestos y la predicción de sus propiedades mecánicas se llevó a cabo mediante

la utilización del software de libre acceso FreeCAD. Así mismo, se implementó la herramienta de impresión 3D (BIBO 2) junto con el programa de código gratuito Cura para la fabricación de los materiales diseñados. Su caracterización, por otro lado, se realizó con un instrumento de medición de propiedades mecánicas por flexión a tres puntos (Instron 4411). Finalmente, la evaluación de la experiencia educativa se llevó a cabo mediante: i) un instrumento de carácter objetivo, como cuestionarios realizados antes y después de la experiencia a través de la herramienta TIC interactiva Kahoot (Kahoot, 2021); ii) un instrumento de carácter subjetivo (encuestas de satisfacción), para valorar la opinión del estudiantado implicado en el desarrollo de las prácticas.

2.3. Procedimiento

2.3.1. Formación requerida del profesorado implicado

Para el desarrollo de la experiencia, el profesorado implicado tuvo que adquirir los conocimientos básicos de uso de los diversos instrumentos mencionados anteriormente. Se emplearon 3 semanas de formación en cursos de FreeCAD a través de plataformas virtuales como YouTube, apoyados por la experiencia de uno de los implicados -CSP-. Por otro lado, el profesorado contó con los conocimientos sobre Cura e impresión 3D de uno de sus integrantes -MRCU-, quien proporcionó sesiones formativas a sus compañeros durante una semana. Así mismo, fue necesaria una semana de aprendizaje dirigida por el participante -JMMJ- sobre la utilización de la máquina de ensayos y la caracterización de los materiales fabricados.

2.3.2. Diseño de la experiencia educativa

– Diseño de MCs y predicción de sus propiedades mecánicas

Atendiendo a la definición de material compuesto, se procedió al diseño de materiales enfocados a su fabricación por impresión 3D. Estos combinan las propiedades de dos polímeros: el PLA (ácido poliláctico) que presenta elevada rigidez y el TPU (poliuretano termoplástico) de alta flexibilidad. Para ello, se utilizó el software libre FreeCAD, el cual permitió desarrollar los modelos 3D y predecir sus propiedades mecánicas mediante simulación computacional. A modo comparativo, se evaluaron, también, las propiedades mecánicas de materiales de referencia (PLA y TPU). Los diseños de las probetas de referencia y MCs se detallan en la Figura 1. Estas presentan una matriz generada con PLA combinada con un refuerzo de TPU y viceversa. El refuerzo se presenta en distintas disposiciones dentro de la matriz, de modo que la fracción de volumen de este se mantiene constante. La Tabla 1 recoge los parámetros geométricos de los modelos 3D propuestos.

Tabla 1. Parámetros geométricos de los modelos 3D, siendo a, b y c el ancho, espesor y longitud de las probetas, respectivamente. D hace referencia al diámetro de las barras utilizadas como refuerzo, colocadas en disposición longitudinal -dirección z- y transversal -dirección x-.

material	axbxc (mm)	D _{barra} (mm)	nº barras longitudinal	nº barras transversal
R	20x8x70	-	-	-
MC-1		3.50	2	-
MC-2		2.00	6	-
MC-3		1.42	12	-
MC-4		2.78	2	4
MC-5		1.56	6	14

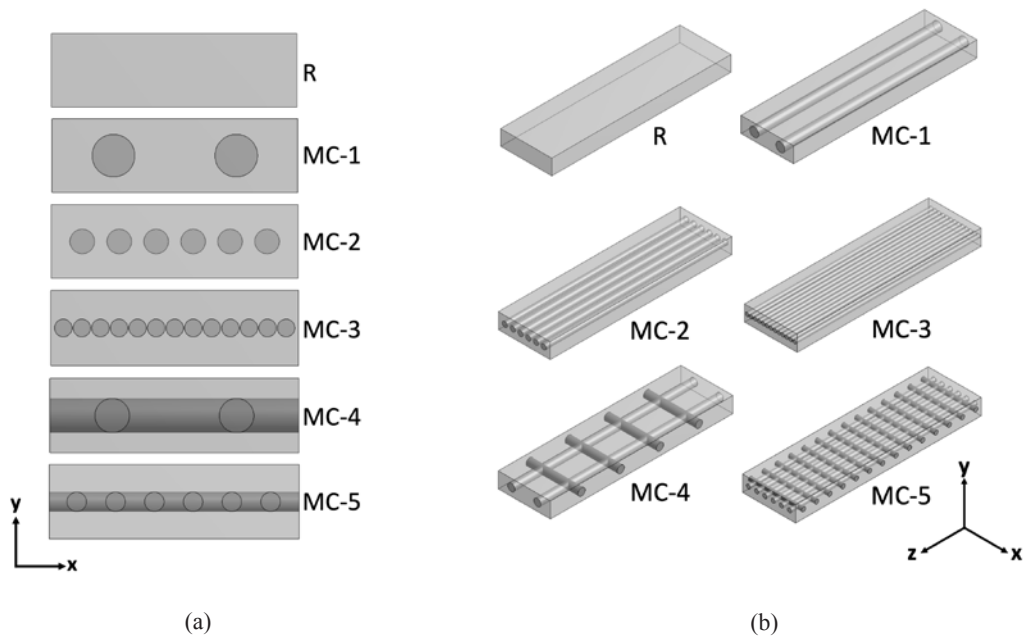


Figura 1. Esquema del diseño con vista frontal (a) y en perspectiva (b) de los modelos 3D, donde R representa las probetas de material de referencia y MC las de material compuesto.

En la Figura 2 se presenta la interfaz de FreeCAD. En ellas se puede observar una simulación de flexión a tres puntos realizada sobre una probeta de referencia de PLA. El tiempo requerido para la simulación de estos materiales de aproximadamente 5-20 minutos, incluyendo el trazado de la geometría, su mallado (1000 elementos), así como las condiciones de contorno empleadas: fijación de las caras paralelas al plano x-y del modelo y presión ejercida en el centro del plano superior x-z del modelo en la dirección y.

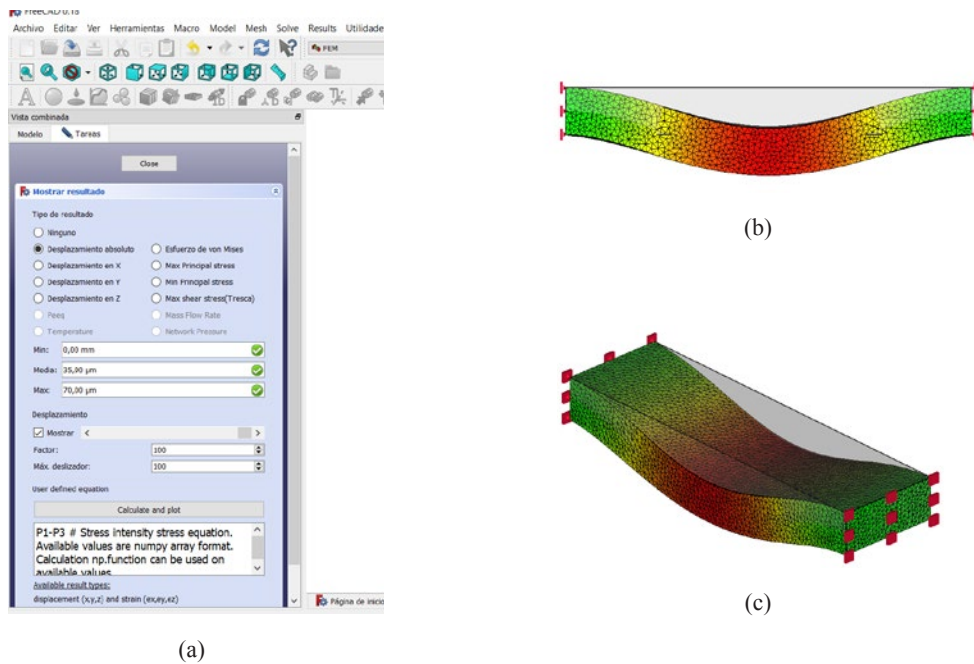
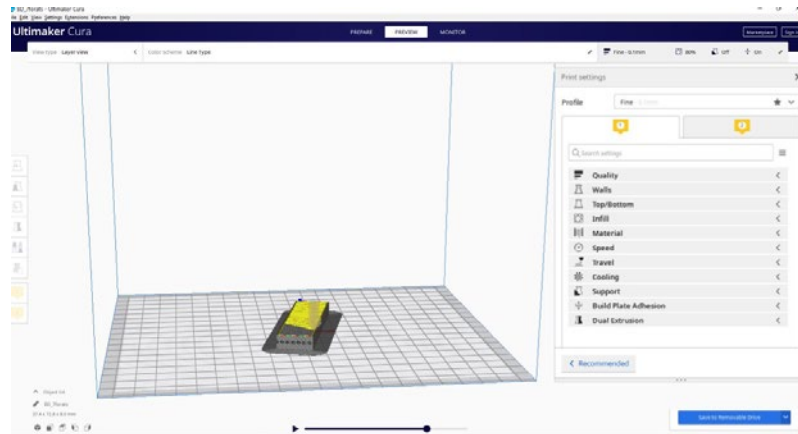


Figura 2. Capturas de pantalla del programa FreeCAD en las que se observa la interfaz del programa (a) y la simulación realizada a una probeta de referencia de PLA (b-c).

– Impresión 3D y caracterización mecánica de MCs

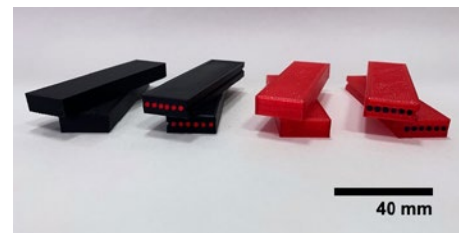
El programa Cura, cuya interfaz se presenta en la Figura 3a, fue utilizado para ejecutar la impresora 3D de dos cabezales, a la cual se le acopló una cámara web (Figura 3b). El tiempo medio de impresión empleado en cada probeta fue aproximadamente de 1 hora, con un patrón de relleno de PLA del 99% y de TPU del 90%. A continuación, se procedió a la caracterización mecánica de los materiales compuestos fabricados, algunos de ellos detallados en la Figura 3c. La herramienta de medida utilizada fue una máquina universal de ensayos.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. (a) Captura de pantalla de la interfaz Cura. (b) es una fotografía de la impresora 3D BIBO 2 utilizada y (c) es una fotografía de algunas probetas impresas (de izquierda a derecha: R de PLA, MC-2 de matriz PLA con refuerzo TPU, R de TPU y MC-2 de matriz TPU con refuerzo PLA).

– Diseño del guion de prácticas

En las carreras universitarias de carácter científico, existe un alto porcentaje de carga lectiva asociada a prácticas de laboratorio, las cuales requieren elevada presencialidad. Pese a ello, durante el pasado año la comunidad docente se vio ante el hecho ineludible de reestructurar la docencia presencial, promovido por la situación sanitaria por Covid19. Este actual suceso ha de ser considerado para futuras épocas de alerta como las de pandemia. Es por ello que la presente experiencia se centró en el diseño de un guion de prácticas de carácter mayoritariamente virtual, pero que permitiese a los estudiantes adquirir los conocimientos experimentales necesarios para su formación. Para establecer un guion de prácticas, el equipo de diseño de la experiencia evaluó aspectos como: el tiempo requerido por cada estudiante para comandar la impresora 3D desde casa, la necesidad de contar con personal disponible para la extracción de cada probeta impresa y reanudar la cola de impresión, el cronograma de recogida de muestras por los estudiantes en la sala de impresión para la realización de los ensayos mecánicos y los tiempos necesarios para ejecutar cada actividad de la práctica. Así mismo, se prepararon los contenidos

para la impartición de las prácticas virtuales y presenciales y se llevó a cabo la escritura del guion. Este contaba con 3 sesiones de 3 horas cada una, dedicadas a: i) la simulación con FreeCAD e impresión 3D con Cura, ii) la realización de medidas experimentales, posteriores a la recogida de muestras y iii) la comparación con la predicción realizada con FreeCAD y los resultados experimentales.

- Plan de evaluación de la experiencia educativa

Para evaluar el desarrollo de la experiencia de modo objetivo, se propuso la realización de dos cuestionarios: uno previo (C1) y otro posterior (C2) al desarrollo de la práctica de laboratorio. Ambos se plantearon con ayuda de la herramienta TIC interactiva Kahoot en base a 4 bloques de conceptos: i) conceptos básicos de MCs, ii) diseño y manufactura de MCs, iii) propiedades mecánicas de MCs y iv) cálculo de propiedades mecánicas. Estos constaban de 20 cuestiones, 5 por cada bloque, con formato respuesta múltiple o tipo verdadero/falso. Así mismo, se consideró evaluar de manera subjetiva la experiencia educativa mediante una encuesta de satisfacción en función al uso de las herramientas, al trabajo experimental y a la interacción entre compañeros dentro del laboratorio.

2.3.2. Puesta en marcha de la práctica y cronograma global de la experiencia

La Tabla 2 recoge el cronograma correspondiente al desarrollo y ejecución de todas las actividades propuestas, tanto por parte del equipo de diseño de la experiencia como por el de estudiantes. Una vez el equipo de diseño finalizó con las actividades preparatorias, se procedió con la puesta en marcha de la práctica. Para esta última actividad, los estudiantes se sometieron a la realización de los dos cuestionarios, una encuesta de satisfacción y tres sesiones de prácticas. Entre la sesión 1 y 2, se destinó una semana la fabricación de los materiales compuestos (probetas), en la que los estudiantes pudieron diseñar y comandar la impresora 3D desde casa. Esto generó una cola de impresión, requiriendo de un miembro del equipo de diseño para la recolección de probetas en el laboratorio de impresión, así como de la reposición de bobinas de polímero para alimentar al dispositivo o posibles atascos durante la ejecución. Esta tarea no presentó alta complejidad, ya que, como se comentó anteriormente, la impresora contaba con una cámara web acoplada que permitía al miembro del equipo de diseño hacer un seguimiento a tiempo real de dichas acciones (ver Figura 3b). La Tabla 3 detalla en un cronograma las actividades propuestas en el guion de prácticas, con un 33% de las mismas de carácter presencial y un 67% de carácter virtual.

Tabla 2. Cronograma de las actividades realizadas durante la presente experiencia educativa, donde ED y ES son los equipos partici acuerdo-, B –en desacuerdo, C –de acuerdo- y D –muy de acuerdo-.

Actividad	Desarrollo temporal (fechas en formato día/mes/año)							
	09/09/20	14/10/20	28/10/20	04/11/20	14/12/20	14/01/20	22/02/21	05/03/21
Formación profesorado	ED							
Diseño de MCs y simulación		ED						
Impresión 3D y caracterización			ED					
Diseño guion de prácticas				ED				
Plan de evaluación					ED			
Puesta en marcha de la práctica							ED y ES	
C1: Cuestionario 1 (22/02/21)							↑	
DP: Desarrollo práctica-sesión 1, 2 y 3 Tabla 3							↑	
C2: Cuestionario 2 (04/03/21)							↑	
ES: Encuesta satisfacción (04/03/21)							↑	
								C1 DP C2ES

Tabla 3. Cronograma y carácter de las actividades propuestas en el guion de prácticas.

Actividad	carácter	Sesión 1 (23/02/21)			Sesión 2 (02/03/21)			Sesión 3 (03/03/21)		
		1 ^º h	2 ^º h	3 ^º h	4 ^º h	5 ^º h	6 ^º h	7 ^º h	8 ^º h	9 ^º h
Simulación con <u>FreeCAD</u> e impresión 3D con Cura	virtual									
	virtual									
	virtual									
Recogida de muestra y medida experimental	presencial									
Análisis comparativo experimental y simulado	virtual									

3. RESULTADOS

Los resultados del cuestionario previo (C1) y posterior (C2) al desarrollo de la práctica obtenidos por el estudiantado de las asignaturas SI, CMQ y CMF, realizados mediante la herramienta TIC interactiva Kahoot, se presentan en la Figura 4. Tal como se comentó en la sección 2.3.2., la evaluación contempla una clasificación en función del contenido de los bloques temáticos relativos a los materiales compuestos. Por otro lado, la Tabla 4 detalla los resultados de la encuesta de satisfacción realizada por los estudiantes donde valoran la experiencia.

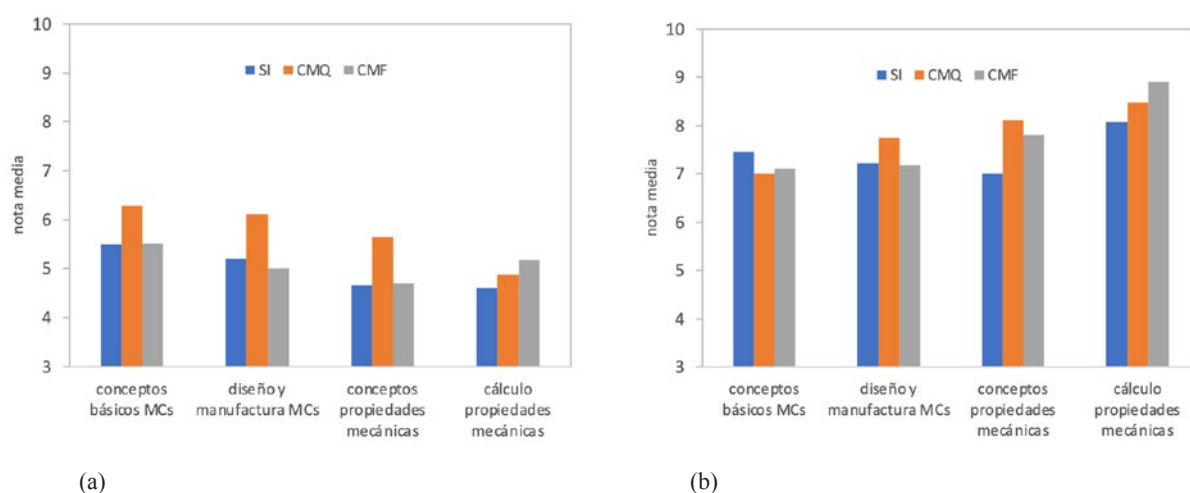


Figura 4. Nota media obtenida por los estudiantes en los cuestionarios realizados con Kahoot antes (a) y después (b) del desarrollo de la práctica.

Tabla 4. Encuesta de satisfacción realizada por los estudiantes participantes, según la siguiente escala de valoración: A –muy en desacuerdo–, B –en desacuerdo–, C –de acuerdo– y D –muy de acuerdo–.

Valoración	A	B	C	D
Uso de la herramienta FreeCAD				
La herramienta predictiva FreeCAD es sencilla de manejar y estimula mi pensamiento crítico y autónomo.	0	1	4	17
El uso de la simulación computacional ha favorecido significativamente mi aprendizaje.	0	0	3	19
Me gustaría que en otras asignaturas del grado en Química/Física se incorporara el trabajo con herramientas de simulación computacional.	0	1	4	17

Trabajo experimental con modelos 3D				
La visualización y manipulación de los modelos 3D me ayuda a comprender los conceptos tratados en las clases teóricas.	0	0	1	21
El análisis de las propiedades mecánicas de modelos 3D en el laboratorio me permite reforzar los conceptos tratados en las clases teóricas.	0	0	3	19
Me gustaría que en otras asignaturas del grado en Química/Física se incorporara el trabajo experimental con modelos 3D.	0	0	4	18

Interacción con los compañeros				
En la sesión presencial de prácticas se crea un clima distendido de trabajo en grupo.	0	0	1	21
El uso de FreeCAD en la sesión virtual de prácticas fomenta que mantenga un clima de diálogo con mis compañeros en mi preparación individual.	0	3	2	17
La discusión sobre la tasa de éxito entre las propiedades mecánicas simuladas y las medidas experimentalmente han favorecido la interacción con mis compañeros.	0	0	2	20

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos tras la realización de la presente experiencia han orientado al profesorado responsable de las asignaturas SI, CMQ y CMF de la UA sobre los déficits actuales que presentan sus contenidos y planes de estudio. Pese a que la experiencia se realizó con un grupo reducido de estudiantes y, por tanto, la población seleccionada no sería suficiente para aplicar un análisis estadístico sobre los resultados, pueden extraerse conclusiones de elevada relevancia. Cabe analizar primero las notas medias obtenidas por los voluntarios en el cuestionario realizado con anterioridad al desarrollo de las prácticas. Atendiendo a la Figura 4a, es evidente que los conocimientos adquiridos por los estudiantes relativos a materiales compuestos son insuficientes si se evalúan aquellos de cursos tempranos (2º curso del Grado en Química -SI-), donde la nota media no supera el 6 e incluso es inferior al aprobado en conceptos relacionados con las propiedades mecánicas. Este hecho se ve agravado al analizar las notas medias de los estudiantes del Grado en Química del 4º curso -CMQ-, que pese a tratarse de un curso bastante más avanzado, apenas superan la calificación de 6. Así mismo, los estudiantes del Grado en Física de 4º curso -CMF-, no parecen haber incorporado a lo largo de su trayectoria educativa amplios conocimientos de materiales compuestos, presentando calificaciones que rondan el 5-6. El análisis de los resultados presentados en la Figura 4b indica una notable mejora en el 100% de los casos participantes evaluados tras la realización de la práctica, obteniéndose calificaciones en un intervalo de 7 a 9. El bloque de conceptos de cálculo de propiedades mecánicas ha sido el que presentó mayor incremento porcentual de nota, con un 70-75% en todas las asignaturas, seguido del bloque de conceptos de propiedades mecánicas, con un aumento del 43-65%. Los resultados ponen de manifiesto que la incorporación de acciones como las aquí planteadas, en las que el estudiante puede visualizar, manipular y experimentar con los objetos de estudio, mejora la comprensión de conceptos complejos aumentando significativamente su rendimiento académico, tal como se refleja en Pinger et al. (2020).

El análisis de la encuesta de valoración también resultó de gran interés para el profesorado puesto que se pretende, mediante acciones futuras, integrar el guion de prácticas y sus actividades al plan de estudios de estas. La valoración fue muy positiva, tanto para el uso de las herramientas de diseño,

simulación e impresión 3D, como para el trabajo con los modelos 3D en un laboratorio, que supuso elevar la interacción entre compañeros.

– *Valoración y análisis didáctico de la presente experiencia educativa*

Realizar una valoración y un análisis didáctico de la presente experiencia educativa tiene como objetivo principal descubrir y, en todo caso, poner en valor, la intencionalidad y racionalidad que subyace en la concepción, desarrollo y retroalimentación posterior de una práctica educativa concreta. Para llevar a cabo este análisis, valoraremos diferentes categorías didácticas, que a continuación se indican:

– *Contenidos y modo de presentarlos*

La presente experiencia educativa pretende ampliar los conocimientos relativos a materiales compuestos y sus propiedades mecánicas a través de una integración de estos en la enseñanza experimental, de modo complementario a las clases teóricas que, a menudo, son insuficientes para alcanzar una completa comprensión de dichos conceptos. Durante las sesiones de prácticas desarrolladas en la experiencia, se presentaron contenidos distribuidos en cuatro bloques que cubrían conceptos generales de materiales compuestos, su diseño y manufactura, conceptos relacionados con sus propiedades mecánicas y cálculos de las mismas. Este ordenamiento de contenidos, que nace en la concepción de la singularidad estructural de un material compuesto y acaba en la demostración de su aplicación como elemento estructural, permite al estudiantado desarrollar una comprensión integral, progresiva y holística de esa familia de materiales llamados compuestos.

– *Discurso narrativo*

Los conceptos relativos a materiales compuestos han de ser introducidos en la enseñanza experimental de manera complementaria a los impartidos en clases teóricas siguiendo una secuencia lógica. De acuerdo con las sesiones de prácticas, la actividad de simulación con FreeCAD e impresión 3D requiere de la introducción de conceptos básicos de diseño y manufactura de materiales compuestos, así como de conceptos sobre sus propiedades mecánicas. Dicha acción es llevada a cabo por el profesor responsable de la práctica, permitiendo al estudiantado afianzar los aspectos necesarios para desarrollar un material compuesto con características concretas. Es de relevancia que, durante las sesiones de medida experimental, se refuercen, también a través del discurso narrativo, los conocimientos relacionados con el cálculo de propiedades mecánicas para que los estudiantes sean capaces de tratar los datos obtenidos en la simulación y compararlos con los experimentales.

– *Desafíos cognitivos implicados*

La metodología aquí expuesta puede clasificarse dentro de las denominadas metodologías docentes activas, las cuales se reivindican el valor protagonista de los estudiantes en el aula. Estas metodologías reducen el componente expositivo del profesor y forman parte de un universo educativo que puede adaptarse fácilmente a las necesidades de cada contexto y de cada estudiante. La característica más importante de las metodologías activas es que generan un desarrollo de habilidades cognitivas tanto de los niveles inferiores como superiores de la conocida taxonomía de Bloom. En esta experiencia educativa, con la metodología concreta planteada, podemos identificar los siguientes desafíos cognitivos:

- Conocimiento: los estudiantes son capaces de *recordar* la información adquirida en las clases teóricas.
- Comprensión: tras recordar ciertos conceptos, los estudiantes son capaces de *identificar*, *clasificar* y dar ejemplos de materiales compuestos.

- Aplicación: los estudiantes son capaces de *transferir* los conocimientos adquiridos al diseño de materiales compuestos mediante la herramienta FreeCAD. Con esta pueden *proyectar* sus ideas y posteriormente, *construirlas* con la ayuda de la herramienta Cura.
- Análisis: los estudiantes tienen las herramientas necesarias para *experimentar*, *cuestionar* y *analizar* los resultados obtenidos durante la realización de la práctica.
- Evaluación: los estudiantes son capaces de *valorar*, mediante un juicio crítico, los resultados alcanzados mediante la medida de la propiedad mecánica experimental y *compararlos* con la simulada.
- Crear: tras la finalización de las prácticas, se espera que los estudiantes sean capaces de *combinar* los conceptos adquiridos de forma que puedan *proponer* y *crear* nuevos materiales compuestos según las propiedades que deseen.
- *Estrategias de enseñanza – aprendizaje*

La presente experiencia educativa se ha planteado siguiendo las principales tesis de Campos (2010) acerca del proceso de enseñanza-aprendizaje y la Neurodidáctica. Campos (2010) señalaba que “a medida que el conocimiento relacionado al funcionamiento del cerebro humano vaya siendo más accesible a los educadores, el proceso de aprendizaje se volverá más efectivo y significativo tanto para el educador como para el alumno” (p. 5). La metodología presentada contribuye de forma directa o indirecta a la consecución de 6 de los 12 principios fundamentales de la Neurodidáctica, entre los que cabe señalar: i) el cerebro es eminentemente social, ii) la búsqueda de significado ocurre por procesos de ordenamiento mental, iii) el aprendizaje involucra tanto atención como percepción periférica, iv) el aprendizaje se fomenta con el desarrollo de la memoria asociativa; v) el aprendizaje es un proceso y vi) el aprendizaje está influido positivamente por los retos.

– *Colaboración vs. cooperación*

La RAE y algunos autores no reconocen existencias significativas entre los términos colaboración y cooperación, dado que ambos coinciden en tener el objetivo final de conseguir un logro común, sin embargo, Panitz (1997) identifica la colaboración con una filosofía de la interacción y del estilo personal de vida donde los individuos son responsables de sus acciones, incluyendo el aprendizaje y el respecto a las habilidades y las contribuciones de sus compañeros, mientras que de la cooperación dice que es una estructura de interacción diseñada para facilitar la consecución de un objetivo específico por el método de que los estudiantes trabajen en grupo. En la presente experiencia educativa han participado estudiantes voluntarios de las asignaturas SI, CMQ y CME, correspondientes a diferentes cursos del Grado en Química y del Grado en Física. A la hora de plantear la experiencia, la heterogeneidad entre los distintos estudiantes no se vio como un problema, sino como una oportunidad. Con el fin de fomentar el trabajo en grupo, el razonamiento crítico y la interacción se propuso que los estudiantes formaran grupos de tres – donde, de forma idónea, cada uno de los integrantes perteneciera a una asignatura diferente –. De este modo, cada integrante del grupo aportaba los conocimientos y habilidades adquiridos a lo largo de su formación y los entrelazaba con los conocimientos y habilidades de sus compañeros para conseguir una interacción simbiótica que acabara en la consecución de los resultados de aprendizaje. Esta interacción, lejos de ser una mera acción cooperativa, fue identificada por el profesorado con todas las características para ser considerada un entorno de colaboración. Véase el caso de los estudiantes de Química, que destacan en los conceptos relacionados con materiales compuestos y sus propiedades, mientras que los Físicos presentan mayor destreza en el desarrollo de cálculos (Figura 4a). La mera interacción entre

los estudiantes, es decir, la suma de sus capacidades, no hubiese generado los resultados obtenidos, haciendo falta para ello que cada estudiante se convirtiese a la vez en profesor y aprendiz de sus compañeros.

Resultado de la presente experiencia educativa, se puede extraer las siguientes conclusiones: i) la integración de metodologías de enseñanza experimental refuerza, complementa y pone en valor el marco teórico de asignaturas de elevado contenido teórico o abstracto; ii) la utilización de herramientas de impresión 3D, combinadas con herramientas que permiten su comando a distancia, y la integración de herramientas de simulación predictiva ha permitido a los estudiantes diseñar, fabricar, visualizar, manipular y experimentar con materiales compuestos, de forma que no sólo se ha mejorado notablemente el proceso de enseñanza-aprendizaje sino que, además, éste se consigue mediante procesos de interacción que van más allá de la cooperación y pueden definirse en términos de procesos colaborativos; iii) el ordenamiento de contenidos, el discurso narrativo y los desafíos cognitivos planteados en la metodología presentada ha permitido al estudiantado desarrollar una comprensión integral, progresiva y holística de esa familia de materiales llamados compuestos, cuyas competencias específicas se integran en asignaturas de los Grados de Química y Física de la UA.

5. REFERENCIAS

- Campos, A.L. (2010). Neuroeducación: uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano. *Revista digital La educación*, 143, 1-14. <https://hdl.handle.net/11537/25280>
- Kahoot. (2021). Obtenido de <https://kahoot.com/>
- Meyer, S. C. (2015). 3D Printing of Protein Models in an Undergraduate Laboratory: Leucine Zippers. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2120-2125. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00207>
- Panitz, T. (1997). Collaborative Versus Cooperative Learning: Comparing the Two Definitions Helps Understand the nature of Interactive learning, *Cooperative Learning and College Teaching* 8 (2).
- Paukstelis, P. J. (2018). MolPrint 3D: Enhanced 3D Printing of Ball-and-Stick Molecular Models. *Journal of Chemistry Education*, 95(1), 169-172. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00549>
- Penny, M. R., Cao, Z. J., Patel, B., Sil, B., Asquith, C. M., Szulc, B. R., Rao, Z. X., Muwaffak, Z.; Malkinson, J. P., & Hilton, S. T. (2017). Three-Dimensional Printing of a Scalable Molecular Model and Orbital Kit for Organic Chemistry Teaching and Learning. *Journal of Chemical Education*, 94(9), 1265-1271. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00953>
- Pinger, C. W., Geiger, M. K., & Spence, D. M. (2020). Applications of 3D-Printing for Improving Chemistry Education. *Journal of Chemistry Education*, 97(1), 112-117. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00588>
- Porter, L. A., Washer, B. M., Hakim, M. H., & Dallinger, R. F. (2016). User-Friendly 3D Printed Colorimeter Models for Student Exploration of Instrument Design and Performance. *Journal of Chemical Education*, 93(7), 1305-1309. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00041>
- Renner, M., & Griesbeck, A. (2020). Think and Print: 3D Printing of Chemical Experiments. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3683-3689. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00416>
- Sabater Piqueres, C., Maiorano Lauria, L. P., & Molina Jorda, J. (2020). Desarrollo y uso de herramientas TIC interactivas y modelos por impresión 3D en el aprendizaje a nivel universitario del enlace atómico. En *La docencia en la Enseñanza Superior. Nuevas aportaciones desde la investigación e innovación educativas* (págs. 1333-1343). Octaedro.

Schmidt, B., King, D., & Kariuki, J. (2018). Designing and Using 3D-Printed Components That Allow Students To Fabricate Low-Cost, Adaptable, Disposable, and Reliable Ag/AgCl Reference Electrodes. *Journal of Chemical Education*, 95(11), 2076-2080. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00512>

Universidad de Alicante. (2021). Obtenido de <https://www.ua.es/>