

Rosana Satorre Cuerda (Ed.)

El profesorado, eje fundamental de la transformación de la docencia universitaria

Rosana Satorre Cuerda (Ed.)

El profesorado, eje fundamental de la transformación de la docencia universitaria

Octaedro 
Editorial

UA

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

El profesorado, eje fundamental de la transformación de la docencia universitaria

EDICIÓN:

Rosana Satorre Cuerda

Revisión y maquetación: ICE de la Universidad de Alicante

Primera edición: octubre de 2022

© 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: 978-8-19506-52-8

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. Dirijase 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.

25. De las TICs a las TACs: Implementación de la impresión 3D y simulación para el estudio de materiales porosos en grados de ciencias e ingeniería

Maiorano Lauría, Lucila Paola; Sabater Piqueres, Carlos; Calvo Urbina, María Reyes y Molina Jordá, José Miguel

Universidad de Alicante

RESUMEN

La presente experiencia educativa tiene por objetivo fomentar el aprendizaje de materiales porosos en asignaturas de Ciencia de Materiales de grados de ciencia e ingeniería a través de la transformación de una tecnología TIC como la impresión 3D en tecnologías propias de la sociedad del conocimiento (TACs - Tecnologías para el Aprendizaje y el Conocimiento) para favorecer nuevas posibilidades educativas de aprendizaje y formación. Los autores presentan una metodología para implementar la herramienta de impresión 3D con el objetivo de fabricar de forma rápida y con bajo coste diversos materiales porosos para su estudio en modalidades organizativas de clases prácticas. La evaluación de la experiencia se realizó mediante encuestas de satisfacción utilizando tres instrumentos: i) cuestionarios anónimos realizados al alumnado mediante la plataforma Kahoot; ii) cuestionarios al profesorado implicado; y iii) cuestionarios a personal externo. La experiencia, desarrollada con un total de 22 estudiantes voluntarios y organizada por 3 profesores y una investigadora posdoctoral, ha resultado motivadora para todos los participantes y representa un avance docente ya que no existe actualmente ningún trabajo en la literatura internacional sobre la caracterización fluidodinámica de materiales macroporosos en prácticas de laboratorio para cursos de universidad. El profesorado externo consultado apunta consideraciones a tener en cuenta sobre la facilidad de implementación de los resultados de esta experiencia educativa.

PALABRAS CLAVE: TAC, material poroso, impresión 3D, simulación, experiencia educativa.

1. INTRODUCCIÓN

La Ciencia de Materiales es un campo científico de carácter multidisciplinar encargado de estudiar la relación entre la estructura y las propiedades de la materia. Con objeto de satisfacer el avance hacia nuevas tecnologías más eficientes y sostenibles, los investigadores en el área centran cada día sus esfuerzos en el desarrollo de nuevos materiales con propiedades avanzadas. Dentro del amplio abanico de materiales, los materiales macroporosos presentan excelentes propiedades (elevada superficie específica, baja densidad, conductividad hidráulica y térmica ajustable, etc.) (Ashby, 2006), lo que los hace atractivos para su aplicación como soportes catalíticos, implantes biomédicos, disipadores e intercambiadores de calor, absorbentes de sonido y de impacto, filtros y electrodos.

El creciente avance tecnológico ha generado que en los últimos años la Ciencia de los Materiales se estableciera como una prioridad en los programas educativos de todas las universidades, donde el análisis de los materiales macroporosos constituye un importante bloque de temas en los grados de ciencias o ingeniería. Sin embargo, y a pesar de su importancia académica, el aprendizaje de estos materiales normalmente se ha limitado al estudio teórico de sus características y principales propiedades en un formato de lecciones magistrales y clases teóricas/expositivas. Hasta la fecha el alum-

nado ha aprendido sobre los materiales porosos a nivel teórico, lo cual ha llevado a que los docentes detectaran deficiencias en la adquisición de competencias específicas relacionadas con el aprendizaje de las principales características y propiedades de estos materiales. La limitación de no ofrecer una enseñanza complementaria a la teórica que ahonde en aspectos más prácticos ha venido dada fundamentalmente por dos razones. Por un lado, estos materiales no pueden adquirirse comercialmente en dimensiones y diseños variados para su utilización en modalidades prácticas. Por otro lado, la fabricación expresa de estos materiales en laboratorio por técnicas que reproducen las utilizadas a nivel industrial resulta inviable debido a su complejidad tecnológica, que excedería los objetivos de aprendizaje de las asignaturas implicadas.

La necesidad de ofrecer un aprendizaje de los materiales porosos desde una perspectiva práctica ha llevado a los autores del presente trabajo a plantear una metodología basada en la implementación de varias de herramientas. Trabajos anteriores reflejan que el uso de herramientas de impresión 3D, que permiten la obtención de materiales de forma rápida y de bajo coste, han conseguido fomentar el aprendizaje, identificándose como elementos innovadores de elevado potencial didáctico (Ford & Minshall, 2019; Maiorano et al., 2021; Pinger et al. 2020; Sabater et al., 2020; Sanz Gil, 2017). Por otro lado, la integración de herramientas de simulación computacional en la enseñanza resulta cada vez más común, ya que permite el estudio de fenómenos complicados en los que los enfoques experimentales y teóricos no son posibles o no proporcionan suficiente información (Sert & Nakiboglu, 2007; Vicéns & Zamora, 2011). Inspirados en estas ideas, la presente experiencia educativa recoge el diseño y desarrollo de unas prácticas en las que estudiantes voluntarios debían: i) diseñar mediante la herramienta de simulación Ansys un material macroporoso; ii) enviar a fabricar el material diseñado mediante impresión 3D con tecnología de dos cabezales; iii) caracterizar el material fabricado mediante técnicas convencionales de laboratorio; y iv) comparar los resultados de los modelos predictivos de simulación con los obtenidos por medición experimental y evaluar la tasa de éxito entre las propiedades demandadas y las medidas experimentalmente. Así mismo, el análisis de las encuestas de satisfacción demuestra que la experiencia ha resultado motivadora tanto para estudiantes como para profesores, por lo que el material generado (guion de prácticas, procedimientos de simulación, diseño de equipos de medida experimental y procedimientos de medida) resulta de elevado valor didáctico.

2. MÉTODO

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

La presente experiencia educativa ha sido realizada durante los cursos académicos 2020/2021 y 2021/2022, sobre un total de 22 alumnos voluntarios matriculados en las asignaturas “Sólidos Inorgánicos” de 2º curso del Grado en Química, “Ciencia de Materiales” de 4º curso del Grado en Química, “Ciencia de Materiales” de 4º curso del Grado en Física (asignatura optativa) y alumnos del Máster de Ciencia de Materiales, todos de la Universidad de Alicante. El equipo investigador, de la misma universidad, fue conformado por el profesor -JMMJ- del Dpto. de Química Inorgánica, dos profesores del Dpto. de Física Aplicada -CSP-MRCU-, junto con una investigadora postdoctoral -LPML-.

2.2. Instrumentos

Se ha recurrido a diversos instrumentos para el desarrollo de esta experiencia educativa. Por un lado, se empleó una impresora 3D de dos cabezales (Dreamer, FlashForge 3D Printer) para generar materiales macroporosos. Previo a su impresión, estas muestras fueron diseñadas mediante el software

FreeCAD y convertidas a formato imprimible mediante el software Cura. Por otro lado, se utilizó el software Ansys (versión 18.1), el cual permite diseñar los materiales y predecir sus propiedades. Así mismo, se emplearon instrumentos convencionales de laboratorio (balanza de alta precisión, manómetros y válvulas, entre otros) para la caracterización experimental. Se llevaron a cabo dos pruebas de carácter objetivo para evaluar la adquisición de conocimientos de los estudiantes durante la práctica. La experiencia se evaluó, por otro lado, con herramientas de carácter subjetivo, realizadas a los estudiantes participantes (la herramienta interactiva TIC gratuita Kahoot), personal docente implicado y personal docente externo.

2.3. Procedimiento

2.3.1. Conformación del equipo investigador: conocimientos previos y/o formación requerida

El desarrollo de una experiencia educativa tal y como se plantea en la presente propuesta requiere de un equipo investigador (EI) que cuente con la formación previa en el empleo de los diversos instrumentos necesarios. Las herramientas empleadas fueron seleccionadas, por tanto, en función del conocimiento previo de sus participantes, pudiendo ser sustituidas por otras análogas cuando exista intención de reproducir la experiencia. Los campos de formación requeridos para el empleo de los instrumentos aquí propuestos, así como los objetivos para su uso, se detallan en la siguiente figura (Figura 1).

El EI fue conformado de forma que cada participante pudiera aportar parte de su conocimiento para la maduración de la experiencia. De este modo, el equipo investigador contaba con dos miembros expertos en simulación computacional y caracterización fluidodinámica de materiales porosos -LPML y JMMJ- y dos en impresión 3D -CSP y MRCU-. Así mismo, cabe destacar que los conocimientos básicos sobre el uso del software Ansys, FreeCAD y Cura pueden adquirirse a partir de documentos on-line que pueden ser descargados de forma gratuita. Además, en la web existen múltiples cursos y videotutoriales accesibles en plataformas populares como YouTube, que hacen que los alumnos puedan aprender de una forma independiente, asíncrona y no presencial.

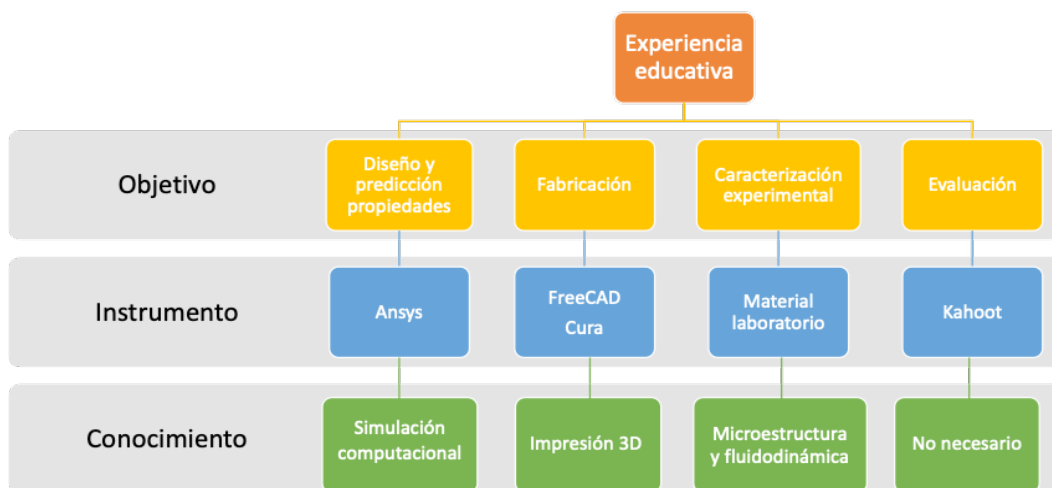


Figura 1. Conocimientos necesarios para el uso de instrumentos empleados en la presente experiencia educativa.

2.3.2. Relación de acciones desarrolladas por el equipo investigador

La experiencia educativa se llevó a cabo en tres etapas consecutivas: i) el prediseño de la experiencia (realizado por el EI), ii) la ejecución de la práctica por parte de todos los participantes (EI y estudiantado) y iii) el análisis de la tasa de éxito de la experiencia (EI). La relación de acciones desarrolladas por el EI así como los tiempos empleados para las mismas se recoge en la siguiente tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de acciones desarrolladas por el EI y tiempo empleado para su ejecución.

Etapas experiencia	Acciones equipo investigador	Criterios de ejecución	Tiempo de ejecución
Prediseño	I. Diseño prototipos	i. diseño de modelos ideales de geometría sencilla: empaquetamiento cúbico simple y poro esférico de radio R; ii. diseño de materiales con y sin fases huésped de radio Rh alojadas en las cavidades porosas de los materiales; iii. empleo de fases huésped de geometría sencilla: esferas de radio r.	4 semanas
	II. Predicción propiedades	i. uso de herramientas de computacionales para: – generación de modelos computacionales equivalentes a los diseñados en I; – estudio fluidodinámico de modelos diseñados en I;	5 semanas
	III. Fabricación prototipos	i. uso de la tecnología de impresión 3D con 2 cabezales para la obtención de materiales macroporosos con y sin fases huésped	3 semana
	IV. Diseño dispositivo experimental	i. montaje de equipo de medida de caída de presión sencillo con material básico de laboratorio	2 semanas
	V. Caracterización experimental	ii. determinación de la caída de presión y permeabilidad con el montaje propuesto en IV.	1 semana
	VI. Elaboración guion de prácticas	i. desarrollo de un guion de prácticas que comprenda: revisión conceptual, tareas presenciales y evaluación.	4 semanas
Desarrollo de la práctica	VII. Desarrollo práctica	i. proporcionar a los estudiantes un diseño de prototipo (I) de partida y los conocimientos necesarios para la predicción de sus propiedades (II) ii. proporcionar a los estudiantes un material ya fabricado (III) para su caracterización experimental (V) con el dispositivo (IV)	3 semanas
Análisis de resultados	VIII. Análisis tasa éxito	i. Evaluar los conocimientos adquiridos por los estudiantes durante la práctica; ii. Evaluar la satisfacción de los estudiantes y profesorado implicado en lo relativo a la experiencia iii. Estudiar la opinión de profesorado externo respecto a diversos aspectos de la experiencia.	2 semanas

3. RESULTADOS

3.1. Diseño de prototipos y predicción de sus propiedades

Un material poroso o espumado se define, en su forma más simple, como un sólido que contiene cavidades porosas (huecos) en su estructura (comúnmente llamada matriz). Estas cavidades pueden presentar diversas morfologías, tamaños y distribución de tamaños. Además, las cavidades porosas

pueden estar o no interconectadas entre sí a través de ventanas, dando lugar a espumas de poro abierto o cerrado, respectivamente. Dentro del amplio abanico de materiales porosos, aquellos que presentan cavidades de geometría esférica y porosidad abierta han atraído el interés de numerosos investigadores por presentar elevada funcionalidad y amplia aplicabilidad. La porosidad esférica confiere un control sobre las características del material, mientras que la interconexión entre poros permite el paso de un fluido a su través. Con objeto de superar las prestaciones de estos materiales, una nueva familia de materiales porosos llamados Guefoams (del inglés guest-containing foams) han sido desarrollados en los últimos años. Estos materiales, basados en espumas de poro abierto y geometría esférica, alojan un nuevo material en forma de partículas (fase huésped) en las cavidades porosas de la espuma. Las fases huésped no mantienen unión química o física con la matriz estructural, confiriéndole al material una funcionalidad ampliada respecto a las espumas convencionales. Las fases huésped pueden estar constituidas, por ejemplo, por fases activas para aplicaciones catalíticas o pueden tratarse de fases adsorbentes para atrapamiento de contaminantes. En este contexto, el presente trabajo se centra en el diseño de prototipos y predicción de las propiedades fluidodinámicas de espumas de poro esférico interconectado y materiales Guefoams que alojan fases huésped esféricas en el interior de sus cavidades porosas.

El comportamiento fluidodinámico de los materiales macroporosos se ve afectado, principalmente, por su tamaño de poro y ventana de interconexión (Otaru 2020). Así mismo, la presencia de fases huésped en el interior de las cavidades porosas del material puede influir significativamente en sus propiedades (Maiorano et al. 2022). Por ello, el diseño de este tipo de materiales tiene un elevado interés científico-tecnológico ya que permite ajustar el comportamiento fluidodinámico de los mismos. Los prototipos desarrollados en la presente experiencia educativa consistían en materiales comprendidos por 7 cavidades porosas de geometría esférica y radio R dispuestos consecutivamente en línea. Por otro lado, los prototipos de materiales con fases huésped fueron diseñados de forma que incorporan esferas de radio R_h en las cavidades de los materiales sin mantener unión física con la estructura porosa. En ambos casos, las ventanas de interconexión, de radio r , se generaron por intersección de las cavidades porosas.

Para el diseño de los prototipos, se empleó la herramienta Ansys-Design Modeler. La Tabla 2 recoge los modelos junto con las variables de diseño utilizadas, mientras que la Figura 2a-b muestra ejemplos de modelos A y B. En la Figura 2c puede observarse el dominio de cálculo generado.

Tabla 2. Variables de diseño empleadas para la generación de modelos geométricos de materiales macroporosos. Los parámetros R , r y R_h denotan el radio de poro, de ventana de interconexión y de fase huésped, respectivamente.

Modelos	Código modelos	R (cm)	r (cm)	R_h (cm)
	A1		0.6	
	A2		0.5	
Espumas	A3	1	0.4	-
	A4		0.3	
	A5		0.2	

Modelos	Código modelos	R (cm)	r (cm)	Rh (cm)
Espumas con fases huésped	B1	1	0.6	0.8
	B2		0.5	
	B3		0.4	
	B4		0.3	
	B5		0.2	

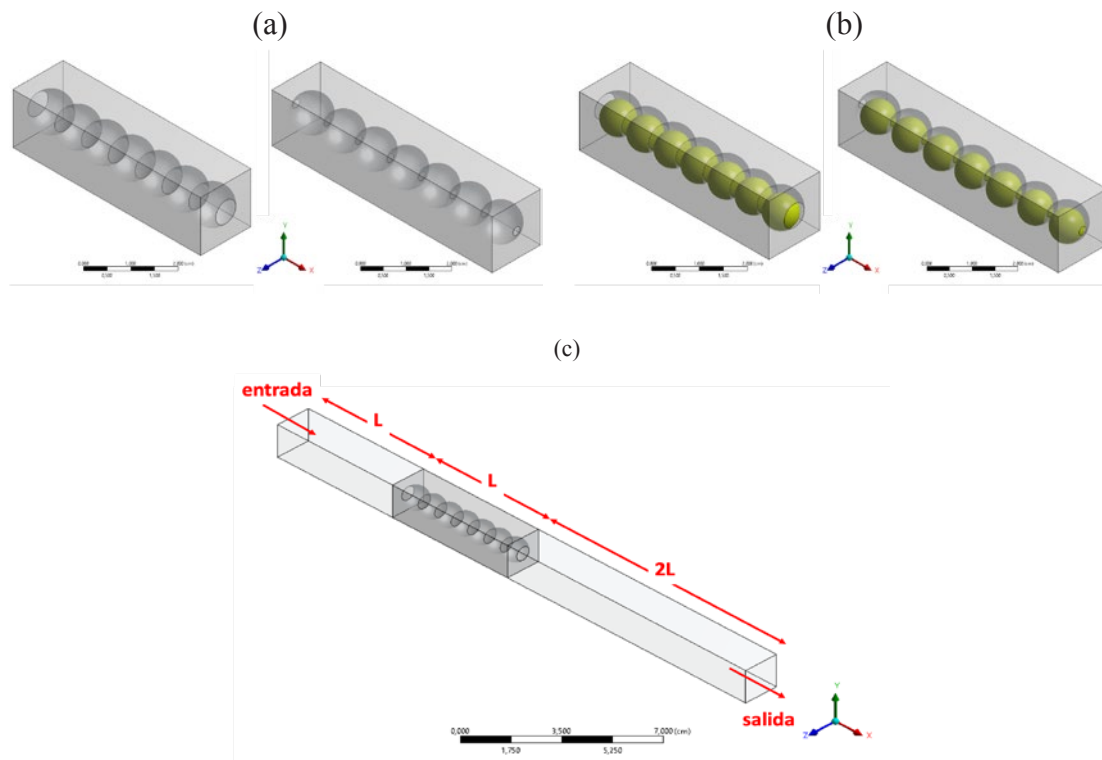


Figura 2. Modelos geométricos diseñados con Ansys sin (a) y con (b) fase huésped (izquierda: $r=0.6$ cm; derecha: $r=0.2$ cm) y dominio computacional empleado para la modelización fluidodinámica (c).

Los diseños se cargaron a continuación en la interfaz Ansys-Mesh, donde se sometieron a un malla tetraédrico sencillo, empleando el mínimo número de elementos posibles que definiera la geometría para reducir el consumo de tiempo y recursos de ordenador. A continuación, se procedió a la simulación fluidodinámica con Ansys-Fluent. El modelo de cálculo seleccionado fue laminar y como fluido se eligió agua. Las condiciones de contorno empleadas fueron: i) flujo másico en el plano de entrada y-z ajustado en el intervalo 1×10^{-5} - 1×10^{-4} kg/s; ii) presión en el plano de salida y-z ajustada a cero. La diferencia de presión entre el plano de entrada y el de salida se obtienen tras cada cálculo numérico en el que el flujo másico de entrada varía.

3.2. Fabricación de prototipos

Los materiales macroporosos se fabricaron por impresión 3D con la herramienta FreeCAD y se convirtieron a formato imprimible con Cura. La necesidad de utilizar una impresora 3D de dos cabezales

radica en la generación de fases huésped en el interior de las cavidades porosas que no mantengan contacto físico con la matriz estructural. De este modo, la matriz y la fase huésped se imprimen con un primer cabezal empleando filamento PLA (ácido poliláctico), mientras que la cavidad porosa que embebe a la fase huésped es generada con filamento PVA (polivinil alcohol) mediante el segundo cabezal. El PVA presenta la ventaja de ser soluble en agua, permitiendo la eliminación de este y dejando libre a la fase huésped en el interior de la cavidad porosa del material. A efectos comparativos, los prototipos sin fases huésped también se fabricaron con ambos materiales poliméricos. La Figura 3 ejemplifica los diseños desarrollados en FreeCAD, varios materiales fabricados y detalles de las ventanas de interconexión entre poros.

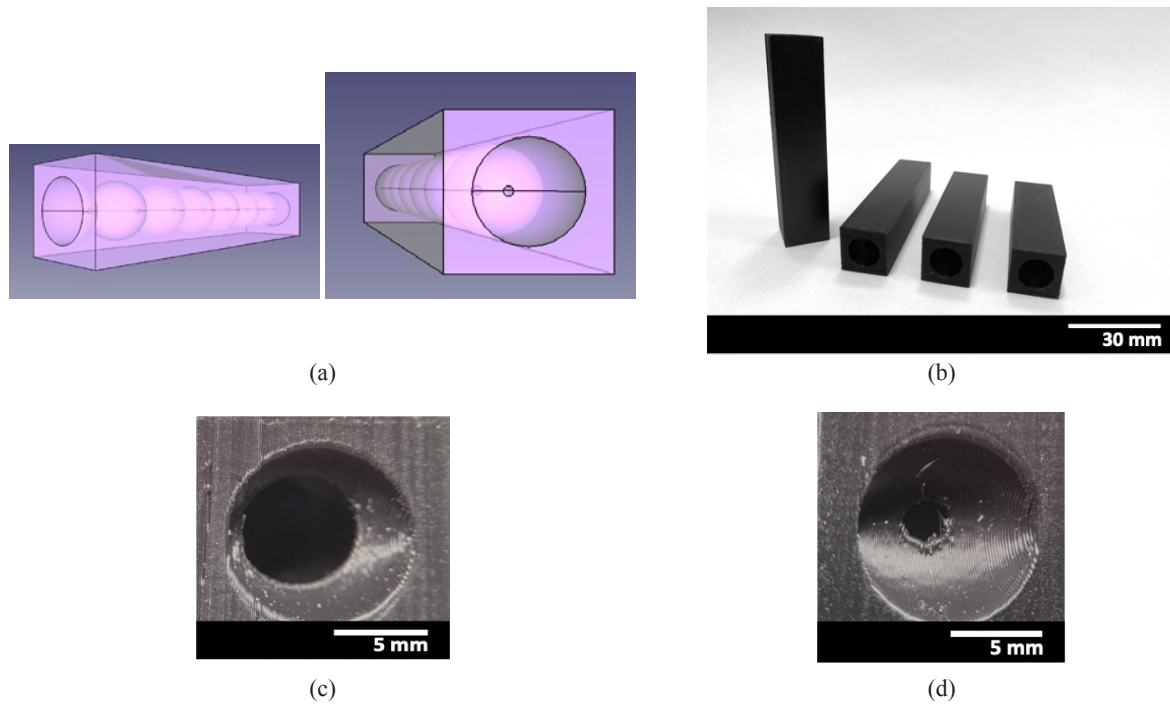


Figura 3. Ejemplo de diseños generados en FreeCAD (a); fotografías de materiales macroporosos fabricados por impresión 3Ds (b) y detalles de las ventanas de interconexión de los prototipos A1 (c) y A5 (d).

3.3. Diseño del dispositivo experimental y caracterización de los materiales fabricados

La permeabilidad de los materiales macroporosos con estructuras como las presentadas en la Figura 3, que derivan de una distribución de poros en disposición cúbica simple, puede obtenerse de forma sencilla a partir de experimentos de inyección utilizando agua como fluido. Si se asume un régimen de estado estacionario y un flujo unidireccional saturado de un fluido incompresible, la permeabilidad puede calcularse con la conocida ley de Darcy:

$$k = \frac{\mu \cdot Q \cdot L}{A \cdot \Delta P} \quad (1)$$

donde Q es el caudal de agua, L es la longitud del material, μ es la viscosidad dinámica del agua, A es el área transversal del material y ΔP es la presión diferencial que lo atraviesa. Teniendo esto en cuenta, se procedió al diseño del dispositivo de medida, el cual se esquematiza en la Figura 4.

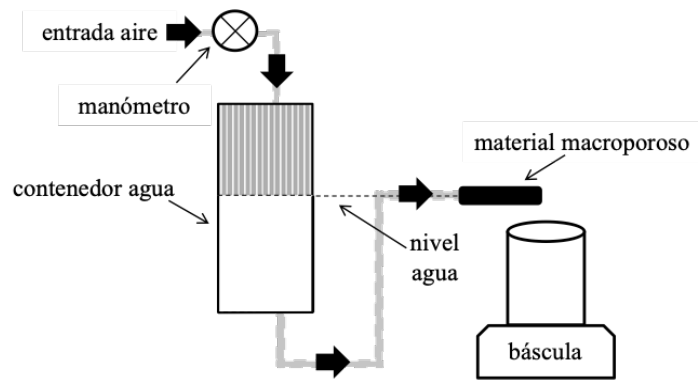


Figura 4. Esquema del dispositivo empleado para la determinación experimental de la permeabilidad.

El caudal de agua Q se obtuvo a partir de la pendiente de una correlación lineal entre el volumen de agua que salía de la muestra en función del tiempo para una presión diferencial determinada.

3.4. Elaboración de un guion de prácticas

Con objeto de fomentar el aprendizaje del alumnado a través de la transformación de una tecnología TIC como la impresión 3D en tecnologías TAC, se elaboró un guion de prácticas de 3 sesiones donde los estudiantes pudieran interactuar con los diversos instrumentos propuestos. El contenido y duración de cada sesión se resume en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de contenidos del guion de prácticas.

Sesión (horas)	Contenido
1 (3hs)	Control inicial de conceptos básicos; Revisión conceptual de propiedades de materiales macroporosos y discusión de aplicaciones; Iniciación a la simulación computacional (interfaz y diseño de materiales de características concretas indicadas por el profesorado responsable);
2 (3hs)	Simulación computacional de caída de presión y obtención de la permeabilidad; Envío de diseño al profesorado responsable de la práctica para su impresión 3D;
3 (3hs)	Caracterización experimental del material fabricado y comparación de resultados obtenidos con los calculados; Control final para la valoración de conocimientos adquiridos y evaluación de la experiencia.

3.5. Resultados derivados de la puesta en marcha de la práctica

Los estudiantes fueron capaces de analizar y comparar los resultados predichos por simulación computacional con los medidos experimentalmente. La Figura 5a recoge ejemplos del porcentaje de diferencia en permeabilidad obtenido por ambos métodos. Con objeto de evaluar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en la presente experiencia, los participantes se sometieron a un control inicial (previo a la realización de la práctica) y a otro final (posterior a la realización de la práctica). Ambos consistían en una serie de 10 cuestiones de dificultad similar, en los que se trataban conceptos básicos relacionados con fluidodinámica. Los resultados de los controles iniciales y finales se reflejan en la Figura 5b, expresados como el incremento de calificación obtenida por cada estudiante voluntario en función de la asignatura que cursaba.

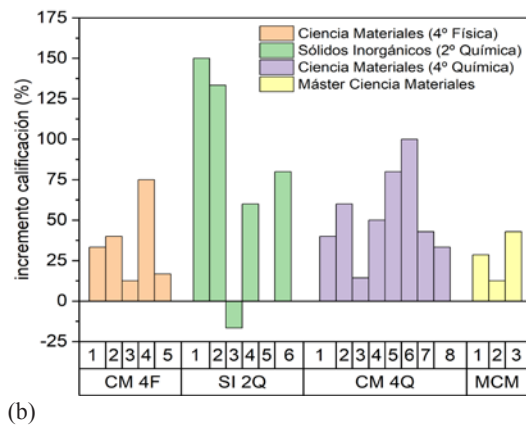
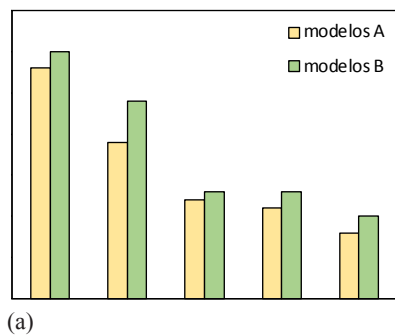


Figura 5. (a) Ejemplo del porcentaje de diferencia entre permeabilidad simulada y medida experimentalmente para los diversos materiales; (b) incremento de calificaciones (control final respecto al inicial) obtenidas por los estudiantes participantes.

3.6. Evaluación de la experiencia educativa

Para la evaluación de la experiencia educativa se plantó la realización de encuestas a: i) los estudiantes implicados, ii) los profesores implicados, y iii) profesores externos. La Figura 6a recoge las preguntas más relevantes realizadas mediante la plataforma Kahoot a los estudiantes junto con sus valoraciones, mientras que la Figura 6b detalla la de los profesores implicados.

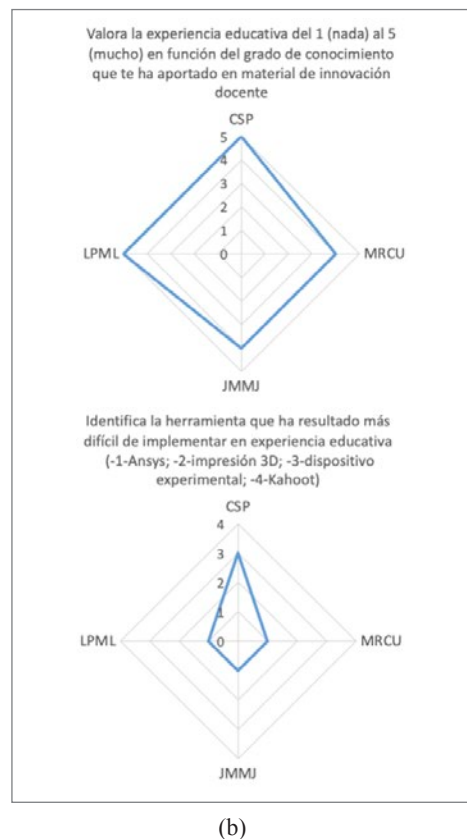
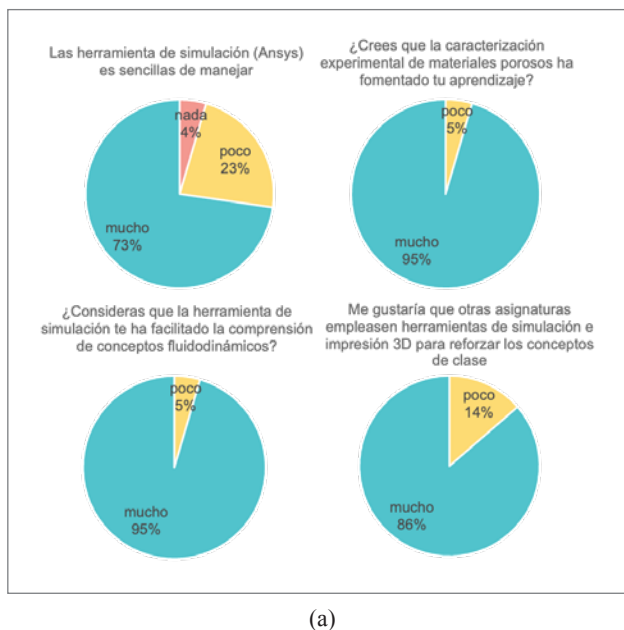


Figura 6. Preguntas más relevantes de la encuesta de satisfacción realizada por los estudiantes (a) y al profesorado implicado (b).

Por otro lado, la experiencia docente fue sometida a juicio externo (consulta a profesores no implicados en esta experiencia) a través de un plan de acción que contempló la elaboración de un conjunto de 3 cuestiones. Estas fueron: i) ¿considera el trabajo presentado relevante para fomentar el aprendizaje de las características y propiedades de materiales porosos?; ii) ¿integraría usted la metodología presentada en esta experiencia docente como parte de su actividad académica relacionada con el aprendizaje de materiales porosos?; y iii) describa las posibles limitaciones de esta experiencia docente en su aplicación como metodología docente en asignaturas de materiales porosos. Se recogió la opinión de 9 profesores externos a la presente experiencia con el fin de recabar sus opiniones acerca de la potencialidad educativa de la experiencia y de la dificultad de su puesta en práctica en diversos entornos educativos. Los 9 profesores contestaron con “Sí” a las dos primeras preguntas de la encuesta y expusieron lo siguiente en la tercera pregunta:

- *MFG (Universidad de Viena) y WWE y LDJ (Universidad de Lausanne) comentaron que encontraban pocas limitaciones a la puesta en práctica de la experiencia educativa, salvo las limitaciones propias de cada universidad en la adquisición de los programas (software) o equipos utilizados.*
- *TR (Universidad Politécnica de Milán) comentó que, en el caso de su universidad, el currículo asociado a los materiales porosos estaba muy limitado en tiempo y le sería imposible adoptar esta metodología en el marco de las escasas 4 horas asignadas en una asignatura que ella misma imparte relacionada con fluidodinámica en materiales.*
- *ESJ (Universidad de Valencia), PCC (Universidad Politécnica de Valencia) y KK (Universidad de Cambridge) coincidieron en comentar que veían ciertas limitaciones en la implementación de esta metodología en sus departamentos derivadas del hecho de que el foco de atención de asignaturas relacionadas con el tema tratado no se había puesto en la fluidodinámica de materiales porosos pero que, dada la importancia que éstos revisten, sería conveniente replantearse los objetivos de aprendizaje de esas asignaturas y tener la metodología propuesta como seria apuesta de futuro.*
- *ATM (Universidad de Alicante) señaló que la mayor limitación en la implantación de esta metodología radica en que los estudiantes necesitan estar entrenados en los programas (software) necesario para el desarrollo de la práctica y que ese entrenamiento puede no poderse ofrecer en todos los centros educativos.*
- *SN (Universidad de Nápoles) coincide con ATM al comentar que es posible que el objetivo fundamental de la práctica pudiese verse menoscabado por la dificultad de manejo de las herramientas necesarias para su compleción.*

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En ocasiones, cuando la transmisión de conocimiento de ciertos conceptos complejos se ve limitado únicamente a clases teóricas, es necesario fomentar el aprendizaje de estos mediante, por ejemplo, metodologías que contemplen la enseñanza experimental. Tal y como se observó en (Sabater et al.,2020; Maiorano et al.,2021), el empleo de herramientas de impresión 3D y simulación pueden resultar de gran interés para mitigar dificultades de comprensión en determinadas asignaturas de elevada carga conceptual.

La presente experiencia educativa, centrada en la transformación de tecnologías TICs en tecnologías propias de la sociedad del conocimiento (TACs), resultó ser una exitosa estrategia para favorecer nuevas posibilidades educativas de aprendizaje y formación en el área de Ciencia de Materiales. Me-

diante un conjunto de acciones (diseño y puesta en marcha de un guion de prácticas que contempla la ejecución de procedimientos con herramientas de simulación computacional y de medidas experimentales), los autores presentan una experiencia educativa de elevado valor didáctico. Los resultados obtenidos en controles realizados por los estudiantes voluntarios antes y después de la realización de las prácticas de la Figura 5c anuncian un claro incremento en las calificaciones. Un análisis indica que un 91% de los participantes mejoró su calificación del segundo control tras la realización de las prácticas, un 4.5% mantuvo la nota y otro 4.5% bajó su calificación. Los resultados muestran, además, que el porcentaje de incremento es mayor en las calificaciones de los estudiantes de primeros cursos (Sólidos Inorgánicos, 2º curso del Grado en Química), probablemente debido a un menor bagaje de conocimientos.

En cuanto a la valoración de la experiencia educativa por parte de los estudiantes, se ha observado que un tercio de los participantes han encontrado ciertas dificultades en el manejo del software de simulación Ansys. Este valor, pese a parecer elevado, resulta de gran éxito para el EI, puesto que se trata de un programa de carácter ingenieril y relativa complejidad. Conscientes de ello, el EI proporcionó a los estudiantes diseños geométricos ya constituidos (a falta de modificar la dimensión R_h) y un manual con los pasos a seguir para el mallado y la simulación. Por otro lado, el 95% de los estudiantes asegura que, tanto la herramienta de simulación computacional como el desarrollo experimental de caracterización de materiales porosos ha facilitado la comprensión de conceptos tratados en clases teóricas, mientras que el 86% ha indicado que le gustaría que se emplearan dichas herramientas en otras asignaturas. En cuanto a la opinión de los profesores implicados, todos consideran que la experiencia educativa les ha aportado conocimiento en materia de innovación docente. Así mismo, 3 de los 4 implicados ha identificado la herramienta Ansys como la más difícil de implementar en la experiencia. Debido a la relativa complejidad del programa, los miembros del EI tuvieron que diseñar el desarrollo de una práctica en simulación bajo la previsión de la falta de conocimientos de los estudiantes en programas de simulación.

En esa misma línea, resulta de elevado interés analizar los resultados de las encuestas realizadas al profesorado externo. En general, los encuestados manifiestan un alto grado de satisfacción con la metodología presentada y aseguran que les gustaría implementarla en su actividad docente. Sin embargo, manifiestan algunas limitaciones del presente estudio que merecen discusión. Con respecto a las limitaciones que pueden tener algunas universidades para la adquisición de los programas propuestos (software), cabe decir que los autores son conscientes de ello y los propusieron por tratarse de programas que poseen versiones de uso libre o son equivalentes a otros de fácil acceso. Es cierto que el problema que apunta uno de los encuestados sobre las limitaciones de tiempo atiende fundamentalmente al criterio de elección del contenido curricular de cada asignatura. En cualquier caso, esta persona afirma que sí adoptaría la metodología propuesta en caso de poder disponer de más tiempo para la fluidodinámica en materiales (algunos casos particulares de currículo de asignaturas llaman la atención desde el punto de vista de los autores, ya que dedicar solamente 4 h lectivas al estudio de fluidodinámica es claramente insuficiente). Una objeción similar que apuntan otros encuestados, relativa a no tener asignaturas con una importante carga en fluidodinámica de materiales porosos, viene acompañada de la voluntad de replantearse los objetivos de aprendizaje de las asignaturas que imparten, dado el especial interés que la fluidodinámica de estos materiales presenta en el contexto actual. Por último, existen encuestados que señalan la dificultad del entrenamiento previo de los estudiantes en las herramientas necesarias para la realización de la práctica, así como que esa dificultad puede desplazar el principal objetivo de la práctica. En este sentido, los autores son conscientes de esta limi-

tación ya que, en el desarrollo de la presente experiencia educativa, tuvieron que afrontar problemas derivados de la utilización del software Ansys. Como se comentó anteriormente, los autores limitaron las funcionalidades del programa Ansys a su utilización una vez aportada por el profesorado la geometría prediseñada de cada material. De esta forma, el foco de atención de los estudiantes reside en todo momento en el efecto que producen los cambios de distintas variables en el comportamiento fluidodinámico del sistema, que consiste en el principal objetivo de la experiencia educativa.

Así mismo, cabe mencionar que la experiencia presenta otra limitación, en esta ocasión asociada al reducido tamaño muestral, que impide un estudio estadístico detallado y la generalización de los resultados. En aras de proporcionar información muestral, se evaluó el perfil sociodemográfico de los participantes. Un 41% de los estudiantes era de sexo femenino de entre 19 y 25 años de edad, mientras que el 59% de estudiantes de sexo masculino presentaban un intervalo ligeramente más amplio de edad de entre 19 y 26 años. De los 22 estudiantes, 6 eran de 2º curso de grado, 13 de 4º curso y 3 eran alumnos de máster, y todos ellos cursaban por primera vez la asignatura relacionada con Ciencia de Materiales. Las capacidades adquiridas durante la formación previa de los estudiantes se demuestran claramente en la Figura 5b (tal como se comentó anteriormente), en la que se observa que cuanto mayor es el nivel de formación de estudiante, más facilidad ha demostrado en la resolución de la experiencia.

Los autores creen, pese al escaso tamaño de muestra, que los resultados obtenidos de la evaluación y valoración de los estudiantes pueden ser considerados favorables y representar el germen de futuros estudios (en cualquier área de educación) en los que se empleen tamaños muestrales mayores. En general, la experiencia ha resultado motivadora tanto para los estudiantes voluntarios como para los profesores implicados y representa un importante avance docente ya que no existe actualmente ningún trabajo en la literatura internacional sobre la caracterización fluidodinámica de materiales macroporosos en prácticas de laboratorio para cursos de universidad.

5. REFERENCIAS

- Ashby, M. F. (2006). The properties of foams and lattices. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 364, 15-30. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1678>
- Gauna, E. A., & Zhao, Y. (2017). Numerical simulation of heat transfer in porous metals for cooling applications. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 48B,1925-1932. <https://doi.org/10.1007/s11663-017-0981-1>
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25,131-150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Maiorano Lauria, L. P., Verdú Molina, N., Sabater, C., Calvo Urbina, M. R., & Molina Jordá, J. M. (2021). Integración de herramientas de impresión 3D y simulación en la enseñanza experimental de los materiales compuestos. En R. Satorre Cuerda (Ed.), *Nuevos retos educativos en la enseñanza superior frente al desafío COVID-19* (págs. 339-349). Octaedro. <http://hdl.handle.net/10045/119348>
- Maiorano, L. P., Chaparro-Garnica, C. Y, Bailón García, E., Lozano-Castelló, D., Bueno-López, A., & Molina-Jordá, J. M. (2022). Guefoams (guest-containing foams) as novel heterogeneous catalysts: Preparation, characterization and proof-of-concept testing for CO₂ methanation. *Materials & Design*, 217,110619-110629. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110619>
- 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>

- Otaru, A. J. (2020). The permeability of replicated microcellular structures in the Darcy regime. *Aiche Journal*, 66, e16915-e16920. <https://doi.org/10.1002/aic.16915>
- Sabater Piqueres, C., Maiorano Lauria, L. P., & Molina Jordá, J. M. (2020). Desarrollo y uso de herramientas TIC interactivas y modelos por impresión 3D en el aprendizaje a nivel universitario del enlace atómico. En R. Roig-Vila (Ed.), *La docencia en la Enseñanza Superior. Nuevas aportaciones desde la investigación e innovación educativas* (págs. 1333-1343). Octaedro. <http://hdl.handle.net/10045/110304>
- Sanz Gil, J. J (2017). Del TIC al TAC: Una aproximación al modelado e impresión 3D en educación superior. *Revista de Educación en Ciencias de la Salud*, 14(1),23-29. <http://www2.udec.cl/ofem/recs/anteriores/vol1412017/artinv14117b.pdf>
- Sert, C., & Nakiboglu, G. (2007). Use of computational fluid dynamics (CFD) in teaching fluid mechanics. *American Society for Engineering Education*, 1-13. <https://hdl.handle.net/11511/89106>
- Vicéns, J. L., & Zamora, B. (2012). A teaching-learning method based on CFD assisted with matlab programming for hydraulic machinery courses. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(4), 630-638. <https://doi.org/10.1002/cae.21554>