



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## Memorias del Programa de Redes de investigación en docencia universitaria

Convocatoria  
**2021-22**

## Memòries del Programa de Xarxes de investigació en docència universitària

Convocatòria  
**2021-22**

Satorre Cuerda, Rosana (Coordinación)  
Menargues Marcilla, María Asunción; Díez Ros, Rocío; Pellín Buades, Neus (Eds.)

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

*Memorias del Programa de Redes de investigación en docencia universitaria. Convocatoria 2021-22 / Memòries del Programa de Xarxes d'investigació en docència universitària. Convocatòria 2021-22*

Organització: Institut de Ciències de l'Educació (Vicerectorat de Transformació Digital) de la Universitat d'Alacant/ Organización: Instituto de Ciencias de la Educación (Vicerrectorado de Transformación Digital) de la Universidad de Alicante

Edició / Edición: Rosana Satorre Cuerda (Coord.), Asunción Menargues Marcilla, Rocío Díez Ros, Neus Pellin Buades

Revisió i maquetació: ICE de la Universitat d'Alacant/ Revisión y maquetación: ICE de la Universidad de Alicante

Primera edició / Primera edición: desembre 2022

© De l'edició/ De la edición: Rosana Satorre Cuerda, Asunción Menargues Marcilla, Rocío Díez Ros & Neus Pellin Buades

© Del text: les autores i autors / Del texto: las autoras y autores

© D'aquesta edició: Universitat d'Alacant / De esta edición: Universidad de Alicante

ice@ua.es

*Memorias del Programa de Redes de investigación en docencia universitaria. Convocatoria 2021-22 / Memòries del Programa de Xarxes d'investigació en docència universitària. Convocatòria 2021-22*

© 2022 by Universitat d'Alacant / Universidad de Alicante is licensed under CC BY-NC-ND 4.0

ISBN: 978-84-09-45382-5

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només pot ser realitzada amb l'autorització dels seus titulars, llevat de les excepcions previstes per la llei. Adreceu-vos a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necessiteu fotocopiar o escanejar algun fragment d'aquesta obra. / Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo 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](http://www.cedro.org)) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Producció: Institut de Ciències de l'Educació (ICE) de la Universitat d'Alacant / Producción: Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante

Aquesta publicació s'ha fet seguint les directrius d'accessibilitat UNE-EN 301549:2020 / Esta publicación se ha hecho siguiendo las directrices de accesibilidad UNE-EN 301549:2020.

EDITORIAL: Les opinions i continguts dels treballs publicats en aquesta obra són de responsabilitat exclusiva de les autores i dels autors. / Las opiniones y contenidos de los trabajos publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de las autoras y de los autores.

# 32. INTERMAT XI (red de investigación INTERdisciplinar en MATeriales)

<sup>1</sup>L.P. Maiorano Lauria; <sup>2</sup>C. Sabater Piqueres; <sup>3</sup>M.R. Calvo Urbina; <sup>4</sup>C. Untiedt Lecuona; <sup>5</sup>J. M. J. Caturla Terol; <sup>6</sup>J.M. Villalvilla Soria; <sup>7</sup>J. Silvestre Albero; <sup>8</sup>M. Martínez Escandell; <sup>9</sup>J.A. Pons Botella; <sup>10</sup>J.M. Molina Jordá

<sup>1</sup>[lucila.maiorano@ua.es](mailto:lucila.maiorano@ua.es); <sup>2</sup>[carlos.sabater@ua.es](mailto:carlos.sabater@ua.es); <sup>3</sup>[reyes.calvo@ua.es](mailto:reyes.calvo@ua.es);  
<sup>4</sup>[untiedt@ua.es](mailto:untiedt@ua.es); <sup>5</sup>[maria.caturla@gmail.com](mailto:maria.caturla@gmail.com); <sup>6</sup>[jmvs@ua.es](mailto:jmvs@ua.es); <sup>7</sup>[joaquin.silvestre@ua.es](mailto:joaquin.silvestre@ua.es);  
<sup>8</sup>[manolo.m@ua.es](mailto:manolo.m@ua.es); <sup>9</sup>[jose.pons@ua.es](mailto:jose.pons@ua.es); <sup>10</sup>[jmmj@ua.es](mailto:jmmj@ua.es)

<sup>1-8,10</sup>Instituto Universitario de Materiales de Alicante, Universidad de Alicante

<sup>1,7,8,10</sup>Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Alicante

<sup>2-6,9</sup>Departamento de Física Aplicada, Universidad de Alicante

## Resumen

El presente proyecto ha perseguido dar el paso desde las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) a las Tecnologías del Aprendizaje y la Comunicación (TACs) mediante el diseño y fabricación de materiales macroporosos por impresión 3D que permiten trabajar en las clases prácticas de asignaturas como Sólidos Inorgánicos (Grado en Química), Ciencia de los Materiales (Grado en Química y Grado en Física) y asignaturas del Máster de Ciencia de Materiales. La estrategia adoptada fue el diseño de una metodología basada en el aprendizaje por proyectos en la que los estudiantes debían: i) diseñar mediante la herramienta de simulación Ansys un material macroporoso en base a unas propiedades esperadas asignadas por el profesor, ii) enviar a fabricar el material diseñado con una impresora 3D de doble cabezal que utiliza polímeros de bajo coste y bajo impacto ambiental, iii) caracterizar el material fabricado mediante técnicas convencionales de laboratorio y iv) comparar los resultados simulados con los experimentales. La

experiencia resultó ser motivadora para todos los participantes y representa un importante avance docente, ya que no existe actualmente ningún estudio en la literatura internacional sobre la caracterización fluidodinámica de materiales macroporosos en prácticas de laboratorio.

**Palabras clave:** materiales porosos, impresión 3D, simulación, fluidodinámica, experiencia educativa.

## 1. Introducción

### 1.1 Problema o cuestión específica del objeto de estudio

La Ciencia de Materiales se basa en el estudio de la preparación, estructura cristalina y propiedades físicas y químicas de los materiales, así como de las posibles vías de su adaptación a usos específicos. En los últimos años, este campo científico ha adquirido gran relevancia dado que el creciente avance tecnológico viene de la mano de los desarrollos en nuevos materiales. Por este motivo, la Ciencia de los Materiales se ha establecido como una de las ramas prioritarias de estudio en los Grados de ciencias e ingeniería de muchas universidades. Dentro del amplio abanico de materiales, los materiales porosos (macroporosos, también llamados materiales espumados o espumas) constituyen una familia de materiales de gran interés tecnológico puesto que presentan excelentes propiedades como gran superficie específica, baja densidad, permeabilidad al paso de fluidos y conductividad térmica ajustable (Ashby, 2006). Su estructura porosa interconectada permite el paso de un fluido a su través, de forma que el fluido interactúa con el material para cumplir con objetivos concretos en numerosas aplicaciones. Entre las más destacables, cabe mencionar el uso de materiales porosos como soportes catalíticos, implantes biomédicos, disipadores e intercambiadores de calor, absorbentes de sonido y de impacto, filtros y electrodos.

En los últimos años, una nueva familia de materiales porosos llamados Guefoams (del inglés guest-containing foams) han sido desarrollados con el fin de mejorar las prestaciones de los materiales espumados convencionales. Los Guefoams se caracterizan por alojar otro material (fase huésped) en sus cavidades porosas. Las fases huésped no mantienen unión química o física

con la matriz estructural, confiriéndole al material una funcionalidad ampliada respecto a los materiales espumados 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. La presencia de nuevas fases en el interior de las cavidades porosas del material puede modificar, además, sus propiedades fluidodinámicas.

El estudio académico de materiales porosos y sus comportamientos fluidodinámicos constituyen un bloque temático de especial importancia en la formación de un estudiante de los Grados de ciencias o ingeniería. Sin embargo, su aprendizaje se ha visto limitado a su estudio teórico en formato de lecciones magistrales y clases teóricas/expositivas. Los profesores de las asignaturas implicadas en la docencia de estos materiales (entre ellos, integrantes de esta red) detectaron deficiencias en la adquisición de las competencias específicas relativas a estos materiales, identificando que sería muy conveniente trabajar los conceptos referentes a estos materiales en clases prácticas. Sin embargo, hasta el momento había sido imposible fundamentalmente por dos motivos. Por un lado, los materiales porosos con diseños adecuados no pueden adquirirse fácilmente para su uso en prácticas y suelen ser costosos. Por otro lado, la fabricación de estos materiales en laboratorio por procesos convencionales de infiltración/activación resulta imposible debido a su elevada complejidad, que excede al marco de las prácticas en estas asignaturas.

## 1.2 Revisión de la literatura

La literatura más reciente apunta a que el uso de herramientas de impresión 3D empleadas para la fabricación de materiales de manera rápida y con bajo coste, permite fomentar el aprendizaje. Estas herramientas han sido identificadas 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).

Un análisis de la literatura indica que no existe actualmente ninguna propuesta de trabajo a nivel internacional sobre la caracterización fluidodinámica

de materiales macroporosos en prácticas de laboratorio para cursos de universidad. Hasta el momento, los estudios reportados en bibliografía relacionados con propuestas docentes para el aprendizaje de propiedades fluidodinámicas se limitan a utilizar piezas monotubulares de diferentes diámetros y formas para la evaluación de los regímenes de un fluido a su paso, con objeto de introducir conceptos muy básicos como el número de Reynolds o los comportamientos laminares/turbulentos (Ford & Minshall, 2019).

### **1.3 Propósitos u objetivos**

Con objeto de favorecer el aprendizaje y, por tanto, el rendimiento académico en el alumnado en conceptos relacionados con el bloque temático relativo a los materiales macroporosos y sus propiedades fluidodinámicas, los miembros del presente proyecto proponen una metodología basada en la implementación de varios instrumentos. La viabilidad de dicha propuesta se presenta como una experiencia educativa que tiene los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar con el programa de simulación Ansys estructuras de materiales macroporosos en los que existe una matriz continua y una fase porosa continua. Los parámetros libres en el diseño son: el tamaño de ventana de interconexión entre poros y la presencia de una fase huésped de geometría esférica en el interior de las cavidades porosas del material.
2. Fabricar con una impresora 3D de dos cabezales las estructuras generadas en el objetivo anterior.
3. Utilizar la herramienta de simulación de elementos finitos del software Ansys para explicar y predecir las propiedades fluidodinámicas de los materiales desarrollados.
4. Diseñar una metodología docente de aprendizaje basado en proyectos para el uso de los materiales y las herramientas a que se refieren los objetivos 1,2 y 3.
5. Implementar en el aula dicha metodología.
6. Evaluar la efectividad de las estrategias diseñadas.

## 2. Método

### 2.1. Descripción del contexto y de los participantes

Durante la trayectoria del presente proyecto docente se desarrolló una experiencia educativa con un grupo de participantes que le otorgaban a la red un carácter multidisciplinar. El grupo de participantes contaba, por un lado, con personal docente miembro del Departamento de Química Inorgánica y del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Alicante (ambos encargados de impartir asignaturas directamente relacionadas con el estudio de la Ciencia de Materiales). Por otro lado, la participación de alumnos voluntarios permitió la puesta en marcha y evaluación de la experiencia. De este modo, la red contaba con: una estudiante de doctorado de Ciencia de Materiales (LPML) y 3 profesores del Departamento de Química Inorgánica (JSA, MME, JMMJ), 6 profesores del Departamento de Física Aplicada (CAP, MRCU, CUL, MJCT, JMVS, JAPB) y 22 alumnos matriculados durante los cursos académicos 2020/2021 y 2021/2022 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.

### 2.2. Instrumento

La experiencia educativa, desarrollada en el marco del presente proyecto, fue llevada a cabo y evaluada mediante el uso de diversos instrumentos que se detallan a continuación:

1. Software FreeCAD y software Cura para el diseño y conversión a formato imprimible, respectivamente, de los diseños de materiales macroporosos.
2. Impresora 3D de dos cabezales (Dreamer, FlashForge 3D Printer) para la generación de materiales macroporosos.
3. Software Ansys (versión 18.1), para el diseño y predicción de propiedades fluidodinámicas de los materiales.
4. Material convencional de laboratorio (balanza de alta precisión, manómetros y válvulas, entre otros) para la caracterización fluidodinámica experimental de los materiales fabricados por impresión

- 3D.
5. Pruebas de carácter objetivo para evaluar la adquisición de conocimientos de los estudiantes durante la práctica.
  6. Encuesta de carácter subjetivo para evaluar la satisfacción de los estudiantes participantes y profesorado implicado con la herramienta TIC interactiva Kahoot.
  7. Encuesta de carácter subjetivo para evaluar la viabilidad de la experiencia realizada a personal docente no implicado.

## 2.3. Descripción de la experiencia / Procedimiento

El desarrollo de la presente experiencia educativa se basó en dos procedimientos bien diferenciados. Por un lado, se llevaron a cabo reuniones periódicas de carácter presencial (1 reunión mensual de aproximadamente 2 horas de duración), en las que se discutieron aspectos como el diseño de la experiencia, la evolución de las actividades propuestas y los resultados obtenidos. El segundo procedimiento se basa en las acciones prácticas desarrolladas por el equipo investigador, las cuales se detallan, junto con los miembros responsables y los tiempos de ejecución, en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación de acciones desarrolladas por el equipo investigador, miembros responsables de cada acción (QI= miembros del Departamento de Química Inorgánica; FA= miembros del Departamento de Física Aplicada) y tiempo empleado para su ejecución.

Etapas experiencia práctica	Acciones equipo investigador	Miembros responsables	Tiempo de ejecución
Prediseño	I. Diseño de prototipos	QI	4 semanas
	II. Predicción de propiedades	QI	5 semanas
	III. Fabricación de prototipos	FA	3 semanas
	IV. Diseño del dispositivo experimental	QI	2 semanas
	V. Caracterización experimental	QI	1 semana
	VI. Elaboración del guion de prácticas	FA	4 semanas
Desarrollo de la práctica	VII. Desarrollo de la práctica	QI y FA	3 semanas



Análisis de resultados	VIII. Análisis de la tasa éxito	QI y FA	2 semanas
------------------------	---------------------------------	---------	-----------

A continuación, se detallan los criterios establecidos para la ejecución de las acciones llevadas a cabo por el equipo de investigación:

I. Diseño de 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  $R_h$  alojadas en las cavidades porosas de los materiales;
- iii. empleo de fases huésped de geometría sencilla: esferas de radio  $r$ .

II. Predicción de 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;

III. Fabricación de prototipos:

- i. uso de la tecnología de impresión 3D con 2 cabezales para la obtención de materiales macroporosos con y sin fases huésped.

IV. Diseño del dispositivo experimental:

- i. montaje de equipo de medida de caída de presión sencillo con material básico de laboratorio.

V. Caracterización experimental:

- i. determinación de la caída de presión y permeabilidad con el montaje propuesto en IV.

VI. Elaboración del guion de prácticas:

- i. desarrollo de un guion de prácticas que comprenda: revisión conceptual, tareas presenciales y evaluación.

VII. Desarrollo de la 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).

#### VIII. Análisis de la tasa de 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 la viabilidad de ejecución las prácticas en sus respectivas instituciones.

## **3. Resultados**

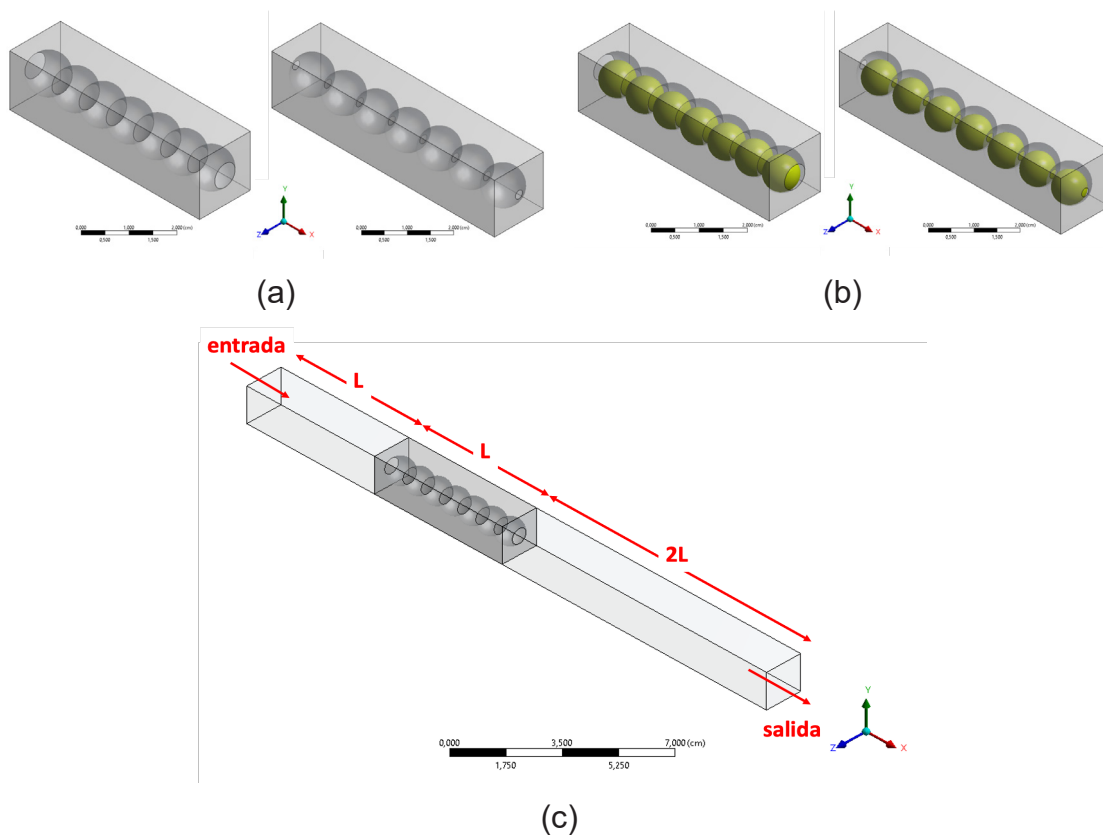
### **3.1. Diseño de prototipos y predicción de sus propiedades**

Los prototipos de material poroso con y sin fase huésped fueron diseñados previamente a su fabricación por impresión 3D con el software Ansys, con objeto de evaluar sus propiedades fluidodinámicas. El comportamiento fluidodinámico de los materiales porosos puede ajustarse en función del tamaño de poro y el tamaño de ventana de interconexión, siendo este último un parámetro crítico de diseño. Por otro lado, la presencia de una fase huésped en las cavidades porosas del material puede a su vez modificar la fluidodinámica, siendo esta otra variable a tener en cuenta. La Tabla 2 recoge los modelos de prototipo y las variables de diseño utilizadas, mientras que la Figura 1 ejemplifica algunos de dichos modelos.

Tabla 2. Modelos y variables de diseño empleadas para la generación de estructuras de materiales macroporosos. Los parámetros R, r y Rh denotan el radio de poro, de ventana de interconexión y de fase huésped, respectivamente.

Modelos	Código modelos	R (cm)	r (cm)	Rh (cm)
Espumas	A1	1	0.6	-
	A2		0.5	
	A3		0.4	
	A4		0.3	
	A5		0.2	
Espumas con fases huésped	B1	1	0.6	0.8
	B2		0.5	
	B3		0.4	
	B4		0.3	
	B5		0.2	

Figura 1. 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).



Además de las variables de diseño (que conciernen únicamente al material poroso), la simulación computacional para la predicción de sus propiedades conlleva la optimización del dominio computacional para reducir el consumo de tiempo y recursos de ordenador, así como para asegurar un resultado preciso.

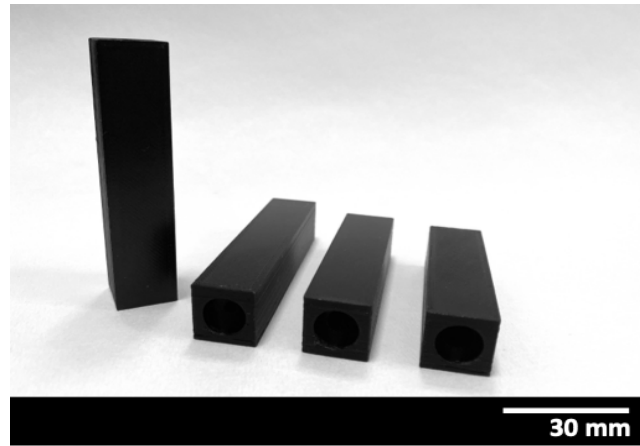
Esta etapa de la experiencia supuso la exploración de variables como: i) la longitud de canalización del aire  $L$  (ver Figura 1c) ii) las condiciones de mallado (tetraédrico o hexaédrico), iii) las condiciones de contorno (simetría, velocidad del fluido o caudal, presión, etc.) y iv) los modelos de cálculo (laminar, turbulento, etc.). Dentro del amplio abanico de posibilidades, se escogió un mallado tetraédrico, 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  $1 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-4}$  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, diseño del dispositivo experimental de medida y caracterización fluidodinámica**

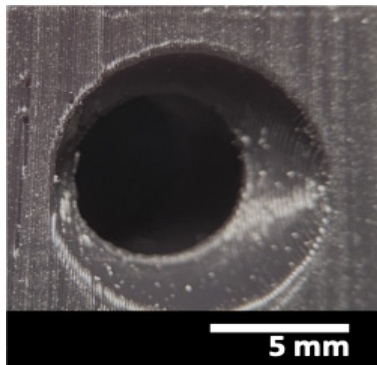
Para la obtención de los materiales macroporosos, los diseños se generaron ahora con la herramienta FreeCAD y se convirtieron a formato imprimible con Cura. A continuación, se imprimieron en una impresora 3D. Es imprescindible que esta cuente con dos cabezales puesto que la generación de fases huésped en el interior de las cavidades porosas no debe mantener contacto físico con la matriz estructural. Para ello, tanto la matriz como la fase huésped se imprimen con un primer cabezal empleando filamento PLA (ácido poliláctico). Por otro lado, la cavidad porosa que embebe a la fase huésped es generada con el segundo cabezal utilizando filamento PVA (polivinil alcohol), un polímero soluble en agua. Cuando el PVA es disuelto en agua deja libre a la fase huésped en el interior de la cavidad porosa del material. Las Figuras 2a-c muestran varios materiales fabricados y detalles de las ventanas de interconexión entre poros.

La caracterización de los materiales fabricados por impresión 3D se llevó a cabo con un montaje experimental a partir de material convencional de laboratorio (Figura 2d). Este se basa en experimentos de inyección y permite registrar el caudal de agua (la masa de agua en función del tiempo) que atraviesa el material a una presión dada. Asumiendo un régimen de estado estacionario y un flujo unidireccional saturado de un fluido incompresible, la permeabilidad puede calcularse con la conocida ley de Darcy.

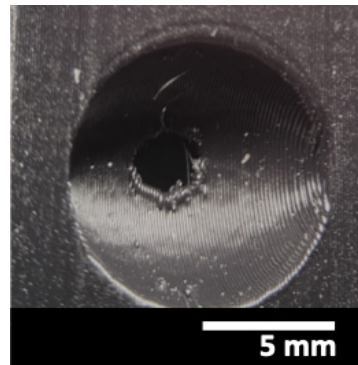
Figura 2. Fotografías de algunos materiales macroporosos fabricados por impresión 3D (a) y detalles de sus ventanas de interconexión: modelo A1 (b) y A5 (c). (d) es un esquema del montaje experimental empleado para la determinación de la permeabilidad de los materiales.



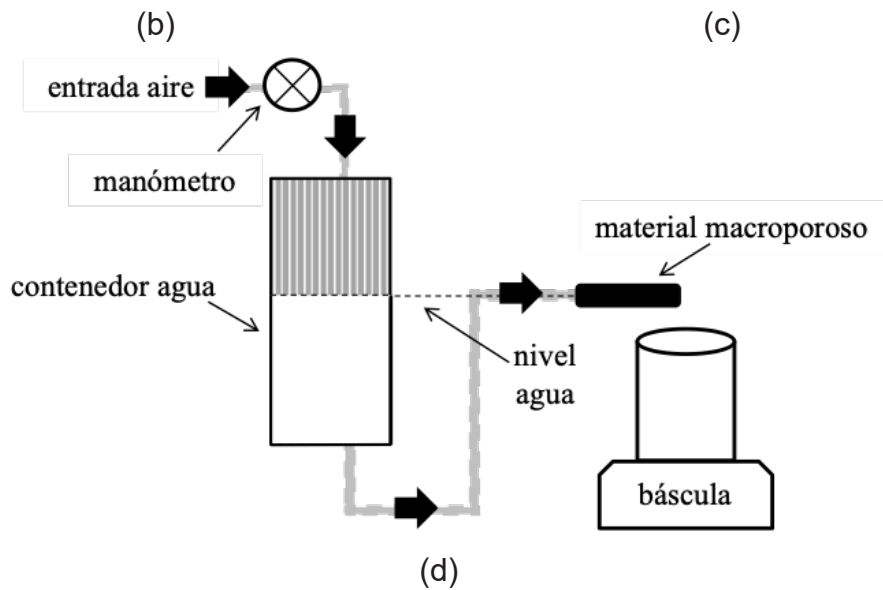
(a)



(b)



(c)

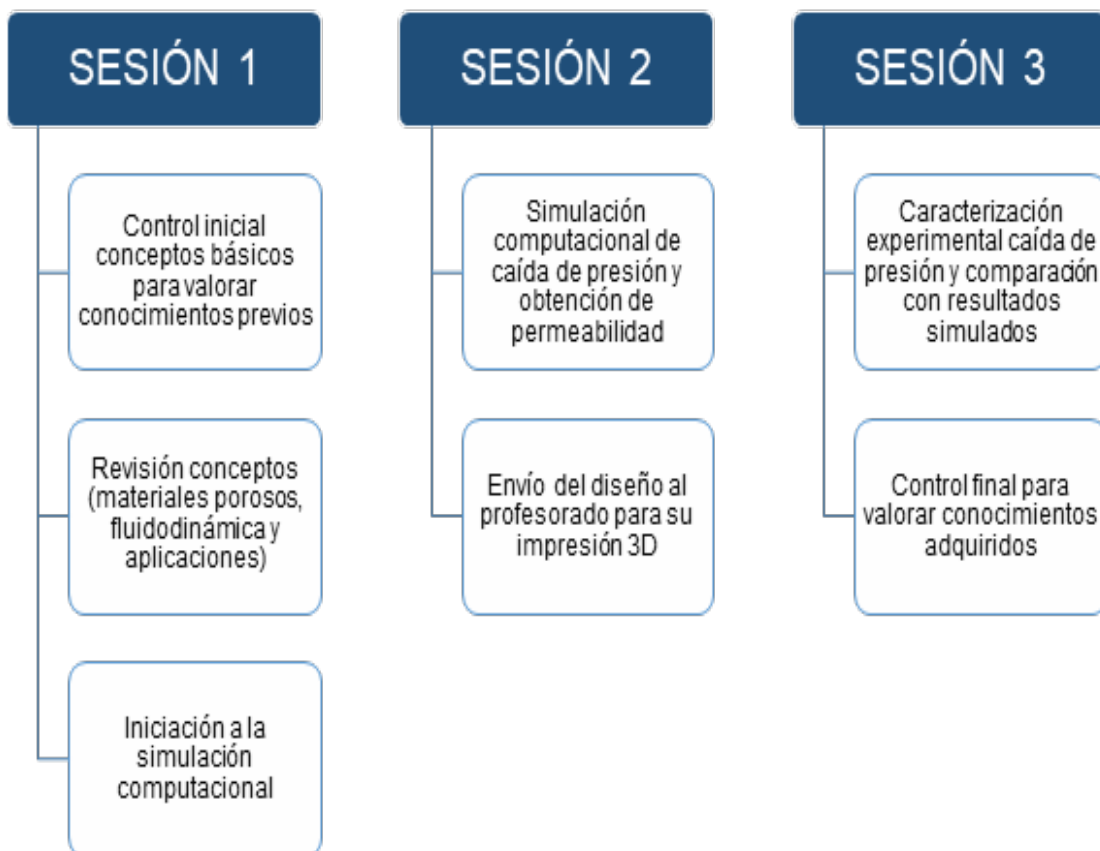


(d)

### 3.3. Elaboración de un guion para las prácticas

La elaboración del guion de prácticas fue una tarea crucial durante el desarrollo de la experiencia docente puesto que debía condensar, en un tiempo relativamente corto, desde una revisión conceptual de materiales porosos hasta su fabricación y caracterización mediante el uso de los diversos instrumentos propuestos. Se determinó que las prácticas podrían ser llevadas a cabo de manera exitosa en 3 sesiones de 3 horas cada una, siempre que se les proporcionara a los estudiantes: i) los modelos de simulación computacional ya conformados para que ellos tuvieran que variar únicamente los parámetros de diseño (tamaño de poro, ventana de interconexión y presencia de fase huésped) y ii) una vez diseñado un material concreto, fuera el personal investigador el encargado de imprimir los prototipos. Los contenidos del guion de prácticas se muestran, a modo de resumen, en la Figura 3.

Figura 3. Resumen esquematizado de contenidos del guion de prácticas.



### 3.4. Resultados derivados de la experiencia

Tras la realización de las prácticas con los estudiantes voluntarios, se llevó a cabo un estudio sobre la tasa de éxito de la experiencia (conocimientos adquiridos por los estudiantes, valoración de la experiencia por parte de los estudiantes y del profesorado implicado y valoración de profesorado externo sobre la viabilidad de ejecución de las prácticas en sus respectivas instituciones).

#### - *Conocimientos adquiridos por los estudiantes*

La evaluación de los conocimientos adquiridos por los estudiantes se llevó a cabo mediante un control inicial (previo a la realización de la práctica) y un control final (posterior a la realización de la práctica). Los resultados determinan que un 91% de los estudiantes mejoró su calificación tras la realización de las prácticas, un 4.5% mantuvo la nota y otro 4.5% bajó su calificación. Los resultados muestran, además, que fueron los estudiantes de primeros cursos (Sólidos Inorgánicos, 2º curso del Grado en Química), los que obtuvieron un mayor incremento de las calificaciones, probablemente debido a un menor bagaje de conocimientos.

#### - *Valoración de la experiencia (estudiantes, profesorado implicado y profesorado externo)*

El 95% de los estudiantes asegura que la experiencia ha facilitado la comprensión de conceptos tratados en clases teóricas sobre materiales porosos, mientras que el 86% ha indicado que le gustaría que se emplearan los instrumentos utilizados 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. En esa misma línea, el profesorado externo manifiesta un alto grado de satisfacción con la metodología presentada y aseguran que les gustaría implementarla en su actividad docente.

De la presente experiencia educativa resultó el trabajo recientemente aceptado para su publicación por la editorial Octaedro en el marco de su edición especial para las “REDES-INNOVAESTIC 2022- EL PROFESORADO, EJE FUNDAMENTAL DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA DOCENCIA UNIVERSITARIA”, organizado por el Instituto de Ciencias de la Educación de

la Universidad de Alicante y titulado “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”. Los 4 autores de este trabajo (y miembros del presente proyecto) participaron, además, en dichas jornadas con una contribución oral.

## 4. Conclusiones

En su XI edición, la red INTERMAT (red de Investigación INTERdisciplinar en MATeriales) ha desarrollado una exitosa estrategia para favorecer nuevas posibilidades educativas de aprendizaje y formación en el área de Ciencia de Materiales. La memoria del presente proyecto detalla una experiencia educativa centrada en la transformación de tecnologías TICs en tecnologías TACs que permite trabajar con materiales macroporos en las clases prácticas de asignaturas como Sólidos Inorgánicos (Grado en Química), Ciencia de los Materiales (Grado en Física y Grado en Química) y máster de Ciencia de Materiales. La metodología empleada consistió en: 1. utilizar el programa Ansys para el diseño de materiales macroporosos; 2. fabricar materiales macroporosos por impresión 3D; 3. utilizar la herramienta Ansys para la predicción de las propiedades fluidodinámicas de los materiales macroporosos desarrollados; 4. diseñar una metodología de aprendizaje basado en proyectos para prácticas de laboratorio que permite el uso de los materiales desarrollados y que incluye la confección de un guion de prácticas; 5. puesta en práctica de la experiencia con alumnos de las distintas asignaturas; y 6. evaluación de la experiencia educativa. La experiencia resultó ser de elevado valor didáctico, con amplia aceptación por parte de los estudiantes, profesorado implicado y profesorado no implicado. Reflejo de los exitosos resultados es un trabajo aceptado para su publicación en una prestigiosa editorial, donde se exponen los desarrollos llevados a cabo en el marco de este proyecto.



## 5. Tareas desarrolladas en la red

Participante de la red	Tareas que desarrolla
Lucila Paola Maiorano Lauria	Primera autora del trabajo “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”. Responsable de las tareas de simulación computacional y caracterización experimental. Responsable de las tareas de interacción con el profesorado externo.
Carlos Sabater Piqueres	Coautor del trabajo “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”. Responsable de las tareas de impresión 3D y confección del guion de prácticas.
María Reyes Calvo Urbina	Coautora del trabajo “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”. Responsable de las tareas de impresión 3D y confección del guion de prácticas.
Carlos Untiedt Lecuona	Miembro activo en las reuniones de seguimiento. Apoyo en los planes estratégicos de intervención con el alumnado.
María José Caturla Terol	Miembro activo en las reuniones de seguimiento. Responsable de tareas de interacción con el alumnado.
Moisés Villalvilla Soria	Miembro activo en las reuniones de seguimiento. Responsable de tareas de interacción con el alumnado.
Joaquín Silvestre Albero	Miembro activo en las reuniones de seguimiento. Responsable de tareas de interacción con el alumnado.
Manuel Martínez Escandell	Miembro activo en las reuniones de seguimiento. Responsable de tareas de interacción con el alumnado.
José Antonio Pons Botella	Miembro activo en las reuniones de seguimiento. Responsable de tareas de interacción con el alumnado.

José Miguel Molina Jordá	Coordinador de reuniones y acciones de investigación. Coordinador y Coautor del trabajo “Integración de herramientas de impresión 3D y simulación en la enseñanza experimental de los materiales compuestos”. Responsable de las tareas de desarrollo de la práctica y análisis de resultados. Responsable de las tareas de interacción con el profesorado externo.
--------------------------	---

## 6. Referencias bibliográficas

- 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>
- 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>
- 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>
- 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>