

INDICE

Editorial	1
Nanofibras de carbono dopadas con ceria: una plataforma avanzada para la producción de hidrógeno a partir de amoníaco.....	2
Biorefinery Processes (BioRP)	8
Explorando la ciencia de materiales a través del grafeno: una experiencia práctica	11
Catalytic hydrodeoxygenation of Bio-Oils: evaluation of operating conditions in a batch reactor and in a continuous trickle-bed reactor.....	18
Development of sustainable carbon-supported catalysts for their incorporation into electrochemical devices.....	20
Advanced materials for Chemical Looping processes.....	23
HYCELTEC 2026 - X Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries.....	26
Curso: El Carbono y sus Materiales, Caracterización y Aplicaciones	28
III Jornadas de Jóvenes Investigadores del Grupo Español del Carbón	29

Editores Jefe:

Juana María Rosas Martínez
Universidad de Málaga

José Luis Pinilla Ibarz
Instituto de Carboquímica (CSIC)

Editores:

Víctor Karim Abdelkader Fernández
Universidad de Granada

Noelia Alonso Morales
Universidad Autónoma de Madrid

Raúl Berenguer Betrián
Universidad de Alicante

Francisco Heras Muñoz
Universidad Autónoma de Madrid

María Victoria García Rocha
(INCAR-CSIC)

Fabián Suárez García
Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (CSIC)

Editorial

Con la llegada del verano, nos complace presentaros el número 80 del Boletín del Grupo Español del Carbón, que vuelve a reunir una muestra diversa de la actividad científica, divulgativa y formativa de nuestra comunidad.

Abrimos este número con un artículo científico a cargo del Grupo de Conversión de Combustibles del Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC), dedicado al desarrollo de nanofibras de carbono modificadas con ceria como soporte catalítico para la producción de hidrógeno mediante descomposición de amoníaco. El trabajo pone de manifiesto el interés de combinar materiales carbonosos con promotores óxidos y metales no nobles para diseñar catalizadores eficientes, estables y competitivos en el contexto de las tecnologías sostenibles de producción de hidrógeno.

En la sección "Conociendo a nuevos grupos", contamos con la contribución del grupo Biorefinery Processes (BioRP), del Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente de la Universidad del País Vasco (EHU). El artículo presenta la actividad del grupo en el ámbito de la biorrefinería integral, con especial atención al desarrollo de materiales carbonosos derivados de biomasa, como biochars e hidrochars, y a su aplicación en procesos sostenibles de valorización y remediación ambiental.

Este número incluye también una interesantísima contribución de carácter divulgativo a cargo de María González-Ingelmo, del Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC), sobre la ciencia de materiales a través del grafeno. En ella se describe una experiencia práctica dirigida a alumnado de Educación Primaria en la que a partir de materiales cotidianos y de la observación de sus propiedades, se introduce la relación entre estructura, propiedades y aplicaciones. La actividad culmina con la preparación de circuitos eléctricos sobre papel, utilizando lápiz de grafito, mostrando de forma sencilla y visual la conductividad eléctrica de los materiales carbonosos y acercando al aula conceptos científicos actuales de una manera participativa y motivadora.

Continuamos con varias reseñas de Tesis Doctorales. En ellas se recogen los trabajos de Jesús A. Gracia Soguero, del ICB-CSIC, sobre la hidrodesoxigenación catalítica de bioaceites y la evaluación de condiciones de operación tanto en reactor discontinuo como en reactor

continuo de lecho fijo tipo trickle-bed; de Miriam López García, del INCAR-CSIC, sobre el desarrollo de catalizadores sostenibles soportados en carbono para su incorporación en dispositivos electroquímicos, con especial atención a reacciones clave como la evolución de oxígeno, la evolución de hidrógeno y la reducción electroquímica de CO₂; y de A. Filsouf, del ICB-CSIC, dedicada al diseño de materiales avanzados para procesos de Chemical Looping.

Cerramos el número con varias noticias y actividades de interés para la comunidad del GEC. Por un lado, contamos con la reseña del HYCELTEC 2026 - X Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries, celebrado en Alicante y centrado en los avances recientes en hidrógeno, pilas de combustible y baterías avanzadas. Por otro, se anuncia una nueva edición del curso "El Carbono y sus Materiales, Caracterización y Aplicaciones", organizado por el Grupo Español del Carbón en la sede Antonio Machado de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA), en Baeza, así como las III Jornadas de Jóvenes Investigadores del Grupo Español del Carbón, que se celebrarán también en Baeza. Ambas actividades reflejan el compromiso del GEC con la formación, la participación de los jóvenes investigadores y la creación de espacios de encuentro dentro de nuestra comunidad.

Desde el equipo editorial queremos agradecer, una vez más, a todos los autores y autoras que han contribuido a este número. Os animamos a seguir enviando vuestras contribuciones, reseñas, noticias y propuestas, para que el Boletín continúe siendo un punto de encuentro abierto y dinámico, para todos los que trabajamos en el ámbito de los materiales de carbono.

Os deseamos un feliz verano.

José Luis Pinilla Ibarz
Juana María Rosas

Síguenos en redes:

@GecBulletin 

@GrupoCarbon 

Boletín del Grupo
Español del Carbón 

Nanofibras de carbono dopadas con ceria: una plataforma avanzada para la producción de hidrógeno a partir de amoníaco

Ceria-doped carbon nanofibers: an advanced platform for hydrogen production from ammonia

Christian Di Stasi, José Luis Pinilla, Isabel Suelves

Instituto de Carboquímica. CSIC. Miguel Luesma 4. 50018 Zaragoza, España

Resumen

Este trabajo estudia el uso de nanofibras de carbono dopadas con óxido de cerio como soporte catalítico para la producción de hidrógeno mediante la descomposición de amoníaco. Las nanofibras de carbono, obtenidas a partir de la valorización de biogás, ofrecen una elevada superficie accesible y favorecen la dispersión de nanopartículas metálicas y promotores. Se prepararon materiales con diferentes contenidos de CeO₂ y posteriormente se incorporaron fases activas de níquel y hierro.

Los resultados mostraron que la incorporación de ceria incrementa significativamente la basicidad superficial del soporte y favorece la formación de especies Ce³⁺ y vacantes de oxígeno. Estas características mejoran la transferencia electrónica hacia las partículas metálicas y facilitan la etapa limitante de recombinación del nitrógeno adsorbido. Entre los catalizadores estudiados, Ni-Ce40/CNF presentó el mejor comportamiento, alcanzando conversiones cercanas al 90 % a 600 °C.

Los análisis estructurales revelaron la formación de nanoagregados de Ni y CeO₂ altamente dispersos sobre las nanofibras de carbono, generando interfaces activas metal-promotor responsables de la elevada actividad observada. El estudio demuestra que la combinación CNF-CeO₂-Ni constituye una estrategia prometedora para el desarrollo de catalizadores eficientes y de bajo coste para la producción sostenible de hidrógeno a partir de amoníaco.

Abstract

This work investigates ceria-doped carbon nanofibers as advanced catalyst supports for hydrogen production through ammonia decomposition. Carbon nanofibers obtained from biogas valorization provide a highly accessible surface that promotes the dispersion of both metallic nanoparticles and promoter species. Supports containing different CeO₂ loadings were synthesized and subsequently impregnated with nickel and iron active phases.

The results demonstrated that ceria incorporation significantly increases the surface basicity of the support and promotes the formation of Ce³⁺ species and oxygen vacancies. These features enhance electron transfer to the metallic particles and facilitate the recombination and desorption of adsorbed nitrogen species, which is widely considered the rate-limiting step of ammonia decomposition. Among the catalysts evaluated, Ni-Ce40/CNF exhibited the

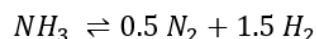
highest activity, achieving ammonia conversions close to 90% at 600 °C.

Structural characterization revealed the formation of highly dispersed Ni-CeO₂ nanoclusters distributed along the carbon nanofibers, generating a high density of metal-promoter interfaces responsible for the enhanced catalytic performance. The study demonstrates that the CNF-CeO₂-Ni architecture is a promising route for developing efficient, stable, and cost-effective catalysts for sustainable hydrogen production from ammonia.

1. Introducción

La transición hacia sistemas energéticos descarbonizados exige el desarrollo de tecnologías capaces de producir, transportar y almacenar hidrógeno de forma eficiente. Aunque el hidrógeno posee una elevada densidad energética gravimétrica, su baja densidad volumétrica dificulta considerablemente su almacenamiento y distribución, especialmente cuando se piensa en aplicaciones a gran escala. En este contexto, el amoníaco (NH₃) se ha consolidado como uno de los vectores energéticos más prometedores para el transporte de hidrógeno debido a su elevado contenido de hidrógeno, alta densidad energética volumétrica y a la existencia de infraestructuras industriales ya implantadas para su producción, almacenamiento y distribución [1].

Sin embargo, la utilización del amoníaco como portador de hidrógeno requiere del desarrollo de tecnologías eficientes capaces de liberar el hidrógeno contenido en su molécula. Entre las distintas alternativas propuestas, la descomposición catalítica de amoníaco destaca por tratarse de un proceso libre de carbono que permite obtener directamente una corriente gaseosa compuesta por hidrógeno y nitrógeno según la reacción:



A pesar de tratarse de una reacción relativamente sencilla desde el punto de vista estequiométrico, su aplicación práctica continúa presentando importantes desafíos. La reacción es moderadamente endotérmica y requiere temperaturas elevadas para alcanzar conversiones significativas. Además, la velocidad global del proceso está fuertemente condicionada por la naturaleza del catalizador empleado, siendo ampliamente aceptado que la recombinación y posterior desorción de especies nitrogenadas adsorbidas constituye la etapa limitante de la reacción [2].

Si bien el rutenio es el metal más activo para la descomposición catalítica de amoníaco, su elevado coste y escasa abundancia limitan su implementación industrial. Como resultado, los catalizadores basados en hierro, cobalto y níquel, considerablemente más abundantes y económicos, son los más empleados. En este contexto, el desarrollo de estrategias que incrementen la actividad catalítica de estos metales constituye una prioridad para la obtención de catalizadores eficientes y económicamente viables. En este sentido, la optimización del soporte catalítico ha adquirido una importancia creciente, ya que las propiedades superficiales del soporte pueden modificar significativamente la actividad de la fase metálica.

Los soportes convencionales más utilizados incluyen óxidos metálicos como Al_2O_3 , MgO o CeO_2 [3]. No obstante, durante los últimos años los materiales de carbono han despertado un interés creciente debido a sus características estructurales únicas. Entre ellos, las nanofibras de carbono (CNF) destacan por combinar una elevada estabilidad térmica con una gran superficie externa accesible, alta conductividad térmica y una notable resistencia mecánica [4]. Además, la naturaleza abierta de su estructura facilita el acceso de los reactivos a los centros activos, minimizando fenómenos difusionales habitualmente observados en soportes porosos convencionales.

Desde el punto de vista de la ingeniería de catalizadores, las nanofibras de carbono ofrecen una ventaja adicional de gran relevancia: actúan como una plataforma ideal para la dispersión de nanopartículas metálicas y óxidos promotores. A diferencia de los soportes tradicionales, donde una parte significativa de la superficie activa puede quedar confinada en el interior de la red porosa, las CNF presentan una superficie externa prácticamente accesible en su totalidad. Esta característica favorece la formación de contactos íntimos entre las fases activas y promotoras, maximizando el aprovechamiento de los sitios catalíticos disponibles.

Paralelamente, numerosos estudios han demostrado que los soportes con elevada basicidad superficial favorecen la descomposición de amoníaco. Los

sitios básicos de fuerza media y elevada son capaces de actuar como donadores electrónicos hacia las partículas metálicas, facilitando la recombinación de nitrógeno adsorbido y disminuyendo la energía requerida para la desorción de los productos de reacción. Entre los materiales más estudiados destaca el óxido de cerio (CeO_2), cuya capacidad para generar vacantes de oxígeno y especies Ce^{3+} le confiere propiedades electrónicas particularmente favorables para este proceso [5,6].

La combinación de nanofibras de carbono y ceria representa, por tanto, una estrategia especialmente atractiva para el diseño de catalizadores avanzados. Mientras que las CNF proporcionan una elevada superficie accesible para la dispersión de nanopartículas, la ceria aporta centros básicos y capacidad de transferencia electrónica. La interacción entre ambos materiales puede dar lugar a estructuras híbridas en las que pequeñas nanopartículas de CeO_2 queden altamente dispersas sobre la superficie carbonosa, generando nuevas interfaces catalíticamente activas.

La Figura 1 muestra esquemáticamente el concepto desarrollado en este trabajo. A diferencia de los soportes convencionales, donde el óxido de cerio forma estructuras compactas con una superficie accesible limitada, las nanofibras de carbono actúan como una plataforma abierta sobre la que se dispersan nanopartículas de ceria y níquel. Esta configuración maximiza el contacto entre ambas fases y favorece la formación de regiones altamente activas para la descomposición de amoníaco.

2. Materiales y métodos

En este trabajo se emplearon nanofibras de carbono obtenidas mediante descomposición catalítica de una mezcla equimolar de CH_4 y CO_2 , lo que permitió simultáneamente la valorización de biogás y la producción de un material carbonoso de elevado valor añadido. Posteriormente, las CNF fueron sometidas a tratamientos ácidos destinados a eliminar restos metálicos procedentes de su síntesis e introducir grupos oxigenados superficiales que favorecen la dispersión de las fases activas.

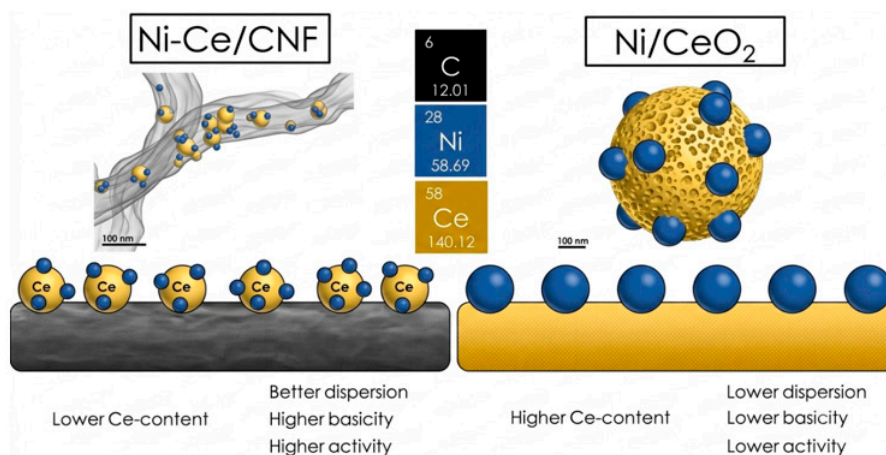


Figura 1. Representación esquemática del trabajo presentado.

Figure 1. Schematic representation of the presented work.

Posteriormente, se prepararon soportes CeO_2/CNF con distintos contenidos nominales de Ce (20, 30 y 40 % en peso) mediante impregnación a humedad incipiente, seguidos de secado y calcinación. Sobre estos soportes, así como sobre CNFs sin modificar, se depositaron Ni o Fe (10 % en peso) mediante el mismo procedimiento de impregnación. Los catalizadores se sometieron a un tratamiento combinado de calcinación y reducción bajo H_2/N_2 , seguido de pasivación controlada. Como referencia, también se preparó un catalizador Ni/ CeO_2 utilizando CeO_2 comercial.

Los materiales se caracterizaron mediante difracción de rayos X (XRD), espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), fisiorción de N_2 , espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS), desorción programada de CO_2 (CO_2 -TPD) y microscopía electrónica de transmisión (STEM-HAADF), con el fin de determinar sus propiedades estructurales, texturales, superficiales y morfológicas.

La actividad catalítica se evaluó en la descomposición de NH_3 entre 400 y 600 °C en un reactor de lecho fijo de cuarzo. Los ensayos se realizaron con 300 $\text{NL}_{\text{NH}_3} \text{ h}^{-1} \text{ gMe}^{-1}$ y ajustando el caudal de alimentación al contenido metálico determinado por ICP-OES para garantizar una comparación homogénea entre catalizadores. Antes de cada experimento, las muestras se reactivaron in situ bajo una corriente de H_2/N_2 y, posteriormente, se alimentó una mezcla de NH_3/Ar . La composición de los productos se analizó mediante cromatografía de gases y la conversión de NH_3 se calculó a partir de la producción de H_2 .

3. Resultados

3.1. Caracterización de los materiales

Los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales se resumen en la Tabla 1.

Los análisis por ICP confirman que la carga metálica obtenida es cercana a la nominal (10 wt.%) para los catalizadores monometálicos sin CeO_2 . En los materiales promovidos con cerio, el contenido de

Ce aumenta progresivamente desde 16.0 hasta 52.7 wt.% para Fe-Ce20/CNF, Ni-Ce20/CNF, Ni-Ce30/CNF y Ni-Ce40/CNF, en concordancia con la carga nominal introducida y con una pequeña gasificación del soporte carbonoso detectado en presencia de Ce y Ni.

Los difractogramas de rayos X evidencian que la incorporación de CeO_2 conduce a cristalitas de pequeño tamaño, entre 5.4 y 8.2 nm, independientemente de la carga de cerio. Por el contrario, el tamaño de cristal de la fase metálica es significativamente mayor para Fe/CNF (38.7 nm), mientras que disminuye hasta 23.7 nm tras incorporar CeO_2 , indicando que la ceria mejora la dispersión del hierro. En los catalizadores de Ni, el tamaño de cristal aumenta ligeramente al incorporar CeO_2 respecto a Ni/CNF (14.1 frente a 16.4-19.3 nm), aunque permanece muy inferior al observado para el Fe. El catalizador Ni/ CeO_2 presenta los cristalitas metálicos más pequeños (3.6 nm), reflejando la fuerte interacción entre Ni y el soporte de ceria.

Las propiedades texturales muestran que las CNFs poseen una superficie específica alrededor de $87 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ y un volumen total de poro de $0.364 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$. La deposición de CeO_2 reduce el área superficial debido al recubrimiento parcial de la superficie del carbono y al bloqueo de parte de la porosidad. Tras la incorporación del metal, la superficie específica permanece prácticamente constante, entre 72 y $89 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, lo que indica que el proceso de impregnación no altera significativamente la textura del soporte. En cambio, los catalizadores Ni-Ce30/CNF y Ni-Ce40/CNF presentan el mayor volumen total de poro ($0.426 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$), superior incluso al de las CNFs originales, lo que sugiere que el tratamiento térmico y la elevada carga de ceria favorecen la generación de porosidad. Finalmente, todos los materiales presentan un volumen de microporo muy reducido ($<0.005 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$), indicando que la estructura está dominada por mesoporos y macroporos, característica habitual de las nanofibras de carbono y favorable para minimizar limitaciones difusionales durante la descomposición de amoníaco.

Tabla 1. Resultados de ICP, XRD y isotermas de N_2 de los materiales en examen.

Table 1. Results of the ICP, XRD and N_2 adsorption of the studied catalysts.

Catalyst	ICP				XRD		N_2 isotherm		
	Ni	Fe	Co wt. %	Ce (CeO_2)	Me* nm	Ce nm	S_{BET} $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$	V_t $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$	$V_{\mu\text{p}}$
Ni/ CeO_2	9.8	-	-	73.4 (90.2)	3.6	12.9	115	0.142	0.000
CNF	0.9	-	-	-	-	-	87	0.364	0.003
Ce20/CNF	0.4	-	-	18.4 (22.6)	-	6.6	73	0.246	0.003
Ce30/CNF	0.4	-	-	27.7 (34.0)	-	5.6	83	0.267	0.005
Ce40/CNF	0.3	-	-	36.2 (44.5)	-	6.8	73	0.268	0.004
Fe/CNF	-	9.0	-	-	38.7	-	86	0.300	0.003
Fe-Ce20/CNF	-	12.0	-	16.0 (19.7)	23.7	8.2	72	0.278	0.002
Ni/CNF	11.8	-	-	-	14.1	-	89	0.311	0.003
Ni-Ce20/CNF	14.6	-	-	22.3 (27.4)	19.3	8.2	73	0.274	0.002
Ni-Ce30/CNF	16.6	-	-	46.2 (56.8)	18.4	7.8	76	0.426	0.001
Ni-Ce40/CNF	17.0	-	-	52.7 (64.7)	16.4	5.4	74	0.426	0.002

La caracterización mediante STEM (Figura 2) mostró que la combinación de CNF, CeO_2 y Ni conduce a la formación de nanoagregados homogéneamente distribuidos sobre la superficie carbonosa, con tamaños inferiores a 10 nm. Estas nanoestructuras generan una elevada densidad de interfaces Ni- CeO_2 , donde las interacciones electrónicas entre el metal, la ceria y el soporte alcanzan su máxima eficiencia.

Tabla 2. Cuantificación elemental obtenida por XPS de las muestras sintetizadas en este trabajo y cuantificación de las especies de Ce a partir de la región Ce3d.

Table 2. Elemental quantification obtained from the XPS survey spectra of all the synthesized materials and the from the Ce3d HR region of doped catalysts.

	C1s	O1s	Ni2p	Fe2p	Co2p	Ce3d	Ce ³⁺ /Ce
	at. %						area%
Fe/CNF	91.51	6.99	-	0.35	-	-	-
Fe-Ce20/CNF	78.74	18.15	-	2.54	-	0.57	30.53
Ni/CNF	95.90	3.84	0.36	-	-	-	-
Ni-Ce20/CNF	78.14	19.71	1.35	-	-	0.80	26.11
Ni-Ce30/CNF	70.43	25.60	2.09	-	-	1.89	26.77
Ni-Ce40/CNF	60.23	33.64	3.73	-	-	2.40	31.08
Ni/ CeO_2	26.89	60.26	7.60	-	-	5.25	37.88

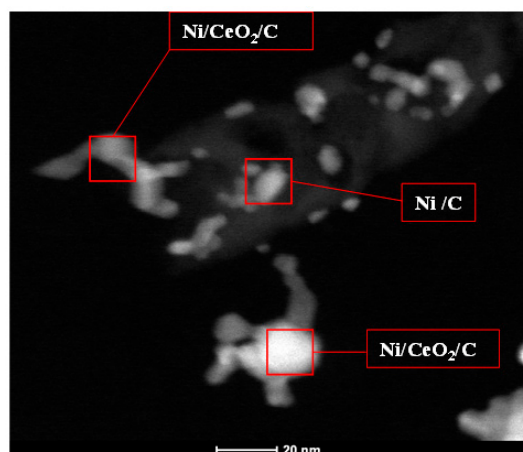


Figura 2. Imagen STEM del Ni-Ce40/CNF.
Figure 2. STEM image of the Ni-Ce40/CNF.

La basicidad superficial fue evaluada mediante CO_2 -TPD y los resultados se muestran en la Figura 3. Los resultados revelan un aumento progresivo de los centros básicos conforme se incrementó el contenido de ceria. El catalizador Ni-Ce40/CNF presentó la mayor cantidad de sitios básicos, multiplicando varias veces los valores observados para el catalizador sin dopar. Esta evolución constituye una evidencia clara de que la ceria se encuentra altamente dispersa sobre las nanofibras de carbono y de que la estructura CNF- CeO_2 favorece una utilización mucho más eficiente de la superficie de la ceria que la observada en soportes masivos convencionales.

3.2. Influencia de la ceria sobre la actividad catalítica

La Figura 4a muestra las conversiones de amoníaco obtenidas con los diferentes catalizadores sintetizados. Los ensayos realizados con las

Los resultados de caracterización por XPS (Tabla 2) indicaron además una elevada concentración de especies Ce^{3+} y vacantes de oxígeno. Estas especies son especialmente relevantes porque incrementan la capacidad de transferencia electrónica del sistema. La interacción entre las nanopartículas de níquel, la ceria y la superficie carbonosa favorece la recombinación de nitrógeno adsorbido, considerada la etapa limitante de la descomposición de amoníaco.

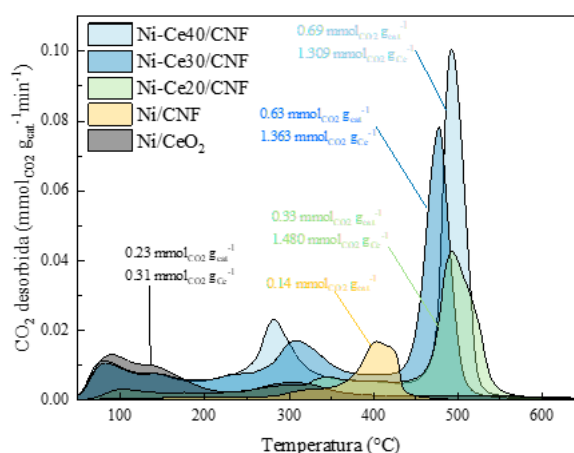


Figura 3. CO_2 -TPD de los catalizadores de níquel sintetizados en este trabajo.

Figure 3. CO_2 -TPD of the nickel catalysts synthesized in this work.

nanofibras de carbono sin fase activa confirmaron que el soporte presenta una contribución limitada a la reacción, alcanzándose conversiones inferiores al 20 % incluso a 600 °C. Estos resultados indican que la producción significativa de hidrógeno requiere la presencia de una fase metálica activa.

La incorporación de níquel o hierro sobre las CNF permitió aumentar de forma notable la conversión de amoníaco y reducir la temperatura de inicio de reacción. Entre los dos metales estudiados, el níquel presentó el comportamiento más favorable, especialmente cuando el soporte fue previamente dopado con ceria.

La adición de un 20 % en peso de CeO_2 (Figura 4b) produjo un incremento sustancial de la actividad catalítica para las tres formulaciones estudiadas. Este efecto promotor fue particularmente intenso en el caso del níquel, donde la conversión aumentó desde aproximadamente un 30 % para Ni/CNF

hasta valores cercanos al 70 % para Ni-Ce20/CNF a 600 °C. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la interacción entre la fase metálica y los centros básicos aportados por la ceria.

Una vez identificado el níquel como la fase activa más prometedora, se evaluó el efecto del contenido de CeO₂. El aumento progresivo de la carga de ceria desde el 20 hasta el 40 % en peso generó una mejora continua del rendimiento catalítico. El catalizador Ni-Ce40/CNF alcanzó conversiones cercanas al 90 % a 600 °C, siendo el mejor resultado obtenido en este estudio.

El efecto positivo de la ceria fue especialmente evidente en el intervalo de temperaturas comprendido entre 450 y 550 °C, donde las diferencias entre las distintas formulaciones fueron más acusadas. Este comportamiento sugiere que la presencia de centros básicos favorece principalmente los pasos cinéticamente limitantes de la reacción.

Uno de los aspectos más relevantes de este trabajo es que la mejora catalítica observada no puede atribuirse exclusivamente a la presencia de ceria. De hecho, el catalizador Ni/CeO₂ preparado utilizando

ceria comercial mostró una actividad inferior a la obtenida con los sistemas Ni-Ce30/CNF y Ni-Ce40/CNF, a pesar de contener una cantidad comparable de fase promotora.

Este resultado demuestra que el soporte carbonoso desempeña un papel crucial en el comportamiento del sistema. Las nanofibras de carbono proporcionan una superficie externa totalmente accesible sobre la que pueden dispersarse simultáneamente las nanopartículas de níquel y las partículas de ceria. Esto contrasta con los soportes convencionales, donde una fracción importante de la superficie activa queda confinada en el interior de la red porosa.

Gracias a esta arquitectura abierta, las CNF favorecen la formación de interfaces Ni-CeO₂ altamente accesibles para las moléculas de amoníaco. Como consecuencia, aumenta la eficiencia de utilización tanto de la fase metálica como de los centros básicos asociados a la ceria.

Además, el soporte carbonoso contribuye a mantener tamaños de partícula reducidos y distribuciones homogéneas, evitando fenómenos de sinterización durante las etapas de síntesis y reacción.

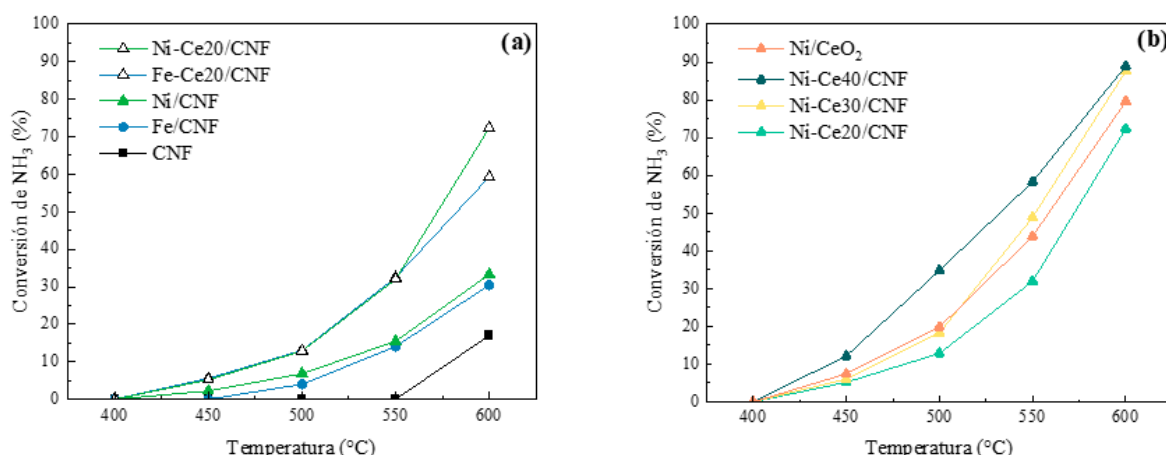


Figura 4. Evolución de la conversión de amoníaco con catalizadores de Ni y Fe a distintas temperaturas (a) y de Ni a distintas temperaturas y con distintas cargas de CeO₂ (b).

Figure 4. Evolution of the ammonia conversion obtained with Fe and Ni catalysts at different temperatures (a) and with Ni at different temperatures and with increasing CeO₂ loadings (b).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que las nanofibras de carbono constituyen un soporte altamente adecuado para catalizadores de níquel destinados a la descomposición de amoníaco. La estructura abierta y la elevada área accesible de este material favorecen una dispersión eficiente de las fases activas y promotoras, permitiendo maximizar las interacciones entre níquel, ceria y soporte. Como consecuencia, los catalizadores Ni-CeO₂/CNF mostraron una actividad significativamente superior a la observada tanto para el catalizador Ni/CNF como para el sistema Ni/CeO₂ preparado con ceria masiva como soporte.

El aumento simultáneo de la basicidad superficial, la concentración de especies Ce³⁺ y la densidad de interfaces Ni-CeO₂ se tradujo en una mejora continua de la conversión de amoníaco al incrementar el contenido de ceria, alcanzándose conversiones

cercanas al 90 % a 600 °C para el catalizador Ni-Ce40/CNF. Estos resultados ponen de manifiesto que la mejora catalítica no depende exclusivamente de la presencia de ceria, sino de la arquitectura híbrida generada mediante su dispersión sobre nanofibras de carbono.

Desde una perspectiva tecnológica, este trabajo demuestra que las nanofibras de carbono obtenidas mediante valorización de biogás pueden actuar simultáneamente como materiales carbonosos de alto valor añadido y como soportes catalíticos avanzados capaces de potenciar el rendimiento de metales no nobles. La estrategia basada en la combinación CNF-CeO₂-Ni emerge así como una alternativa prometedora para el desarrollo de catalizadores eficientes, estables y económicamente competitivos orientados a la producción sostenible de hidrógeno a partir de amoníaco.

Referencias

[1] Sun S, Jiang Q, Zhao D, Cao T, Sha H, Zhang C, et al. Ammonia as hydrogen carrier: Advances in ammonia decomposition catalysts for promising hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022;169:112918.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112918>

[2] Yin SF, Xu BQ, Zhou XP, Au CT. A mini-review on ammonia decomposition catalysts for on-site generation of hydrogen for fuel cell applications. *Appl Catal A Gen* 2004;277:1–9.

<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2004.09.020>

[3] Lucentini I, Garcia X, Vendrell X, Llorca J. Review of the Decomposition of Ammonia to Generate Hydrogen. *Ind Eng Chem Res* 2021;60:18560–611.

<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c00843>

[4] Di Stasi C, López-de los Ríos J, Ayala-Cortés A, Ferrer P, Grinter D, Pinilla JL, et al. Highly basic ceria-doped carbon nanofibers for H₂ production via catalytic NH₃ decomposition. *Chemical Engineering Journal* 2025;523:168479.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.168479>

[5] Ju Y, Byun SW, Song Y, Kim B, Kang KY, Kim H, et al. Modulated electronic environment of Ru on CeO₂ for superior NH₃ decomposition catalysis. *Sep Purif Technol* 2025;374:133723.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.133723>

[6] Zhou C, Wu K, Huang H, Cao C-F, Luo Y, Chen C-Q, et al. Spatial Confinement of Electron-Rich Ni Nanoparticles for Efficient Ammonia Decomposition to Hydrogen Production. *ACS Catal* 2021;11:10345–50.

<https://doi.org/10.1021/acscatal.1c02420>

Biorefinery Processes (BioRP)

M. Mirari Antxustegi, María González Alriols

Grupo Procesos de Biorefinería, BioRP. Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente. Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa. Universidad del País Vasco, Euskal Herriko Unibertsitatea

El grupo de investigación Biorefinery Processes (BioRP), liderado por el doctor Jalel Labidi, desarrolla su actividad en el Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente de la Universidad del País Vasco (EHU). Tiene su sede en la Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa en Donostia-San Sebastián.

El grupo (Imagen 1) se sitúa dentro del marco científico de la biorrefinería integral, entendida como una estrategia de valorización de la biomasa

que persigue la obtención simultánea de energía, productos químicos y materiales a partir de recursos renovables. Este enfoque se apoya en la integración de ingeniería de procesos, química de biomasa y ciencia de materiales, abarcando todas las etapas de la cadena de valor, desde el pretratamiento y fraccionamiento de la materia prima hasta el diseño de productos finales y la evaluación ambiental y tecno-económica de los procesos.



Imagen 1. Miembros del grupo de investigación BioRP.

Image 1. BioRP research group members

En este contexto, las líneas de investigación desarrolladas por BioRP reflejan una evolución desde el estudio clásico de los macrocomponentes de la biomasa lignocelulósica, celulosa, hemicelulosa y lignina hacia un enfoque más amplio, orientado a la generación de materiales funcionales y a la intensificación de procesos sostenibles. Paralelamente, se lleva a cabo un importante esfuerzo en el diseño, simulación e integración de procesos, con especial atención a la optimización energética y a la minimización del impacto ambiental, en línea con los principios de la economía circular.

El grupo BioRP ha desempeñado un papel relevante en la Red temática de Biorrefinerías Sostenibles (BIOSOS), participando en distintas convocatorias financiadas a nivel nacional (2016, 2018 y 2022) y colaborando con grupos de investigación de numerosas universidades españolas y centros de investigación nacionales. Esta red integra capacidades complementarias en áreas clave como el fraccionamiento y valorización de biomasa, procesos termoquímicos y catalíticos, transformaciones químicas y bioquímicas, modelización y evaluación de sostenibilidad, favoreciendo un enfoque interdisciplinar y sistémico. La participación en BIOSOS ha permitido reforzar la cooperación científica, impulsar el desarrollo de líneas conjuntas y promover la transferencia de conocimiento hacia el tejido productivo, contribuyendo a la generación de

soluciones tecnológicas más eficientes y sostenibles.

Dentro de este marco general, la línea de investigación centrada en la obtención y aplicación de materiales carbonosos derivados de biomasa —principalmente biochar e hidrochar— ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. El trabajo desarrollado por el grupo en esta línea se ha orientado hacia el diseño de materiales adsorbentes basados en biochar e hidrochar activado para su aplicación en la remediación de corrientes industriales, prestando especial atención a la eliminación de compuestos orgánicos. Esta investigación se aborda de forma sistemática desde una perspectiva claramente ingenieril, en la que el comportamiento del material no se disocia del proceso de producción que lo genera.

Esta línea de investigación está fundamentalmente impulsada por las investigadoras María González Alriols (ORCID: 0000-0002-1607-6603) y M. Mirari Antxustegi Bengoetxea (ORCID: 0000-0003-3188-5887), cuyas trayectorias consolidan la base científica y tecnológica del desarrollo de biocarbones e hidrocarbones en el grupo. Ambas cuentan cerca de dos décadas de experiencia investigadora en el ámbito de la valorización de biomasa lignocelulósica y la ingeniería de procesos de biorrefinería, participando de forma activa en numerosos proyectos competitivos y colaboraciones internacionales.

En particular, María González Alriols ha desarrollado una línea sólida en el diseño, simulación y optimización de procesos de biorrefinería, acumulando varias decenas de publicaciones en revistas indexadas y participación en más de medio centenar de proyectos de I+D+i, tanto como investigadora principal como miembro del equipo. Su actividad científica se caracteriza por la integración de datos experimentales con herramientas de modelado orientadas al escalado de procesos. Por su parte, Mirari Antxustegi Bengoetxea ha centrado su investigación en el desarrollo y caracterización de materiales carbonosos para aplicaciones energéticas y ambientales. Más concretamente, se ha especializado en valorización energética de la biomasa y en el análisis de sistemas avanzados de conversión termoquímica aplicados a la obtención de materiales y vectores energéticos sostenibles.

En conjunto, ambas investigadoras han contribuido de forma decisiva al desarrollo de la línea de biocarbones, combinando capacidades en síntesis y caracterización de materiales con competencias avanzadas en ingeniería de procesos, lo que se refleja en una producción científica sostenida, la dirección de tesis doctorales y la consolidación de esta línea como uno de los ejes estratégicos del grupo BioRP. En este contexto, los trabajos más recientes del grupo reflejan de manera clara esta aproximación integrada entre diseño de materiales y

desarrollo de procesos.

El trabajo publicado en *Fuel*, 2024, (<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.130994>) titulado “Improving process sustainability in bio-oil transforming for biofuels and platform chemicals production: valorization of the carbon residue” (Imagen 2) aborda la mejora de la sostenibilidad en los procesos de transformación de bio-oil para la producción de biocombustibles y plataformas químicas, poniendo el foco en la valorización del residuo carbonoso generado durante estos tratamientos. El estudio propone una estrategia integrada que permite aprovechar este subproducto sólido, tradicionalmente considerado un residuo, como fuente de materiales de valor añadido, contribuyendo así a cerrar el ciclo de aprovechamiento de la biomasa. A través del análisis de diferentes condiciones de proceso, los autores demuestran que la valorización del residuo carbonoso no solo mejora el rendimiento global del sistema, sino que también reduce el impacto ambiental y aumenta la eficiencia en el uso de recursos. Asimismo, se pone de manifiesto que este residuo presenta propiedades adecuadas para su uso potencial en aplicaciones como materiales adsorbentes o energéticos. El trabajo destaca la importancia de incorporar enfoques de valorización integral en las biorrefinerías, promoviendo procesos más sostenibles, eficientes y alineados con los principios de la economía circular.

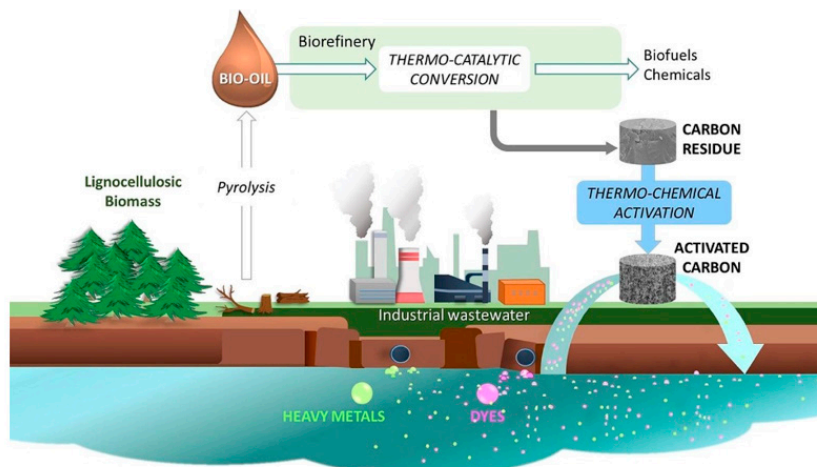


Imagen 2. Resumen gráfico del trabajo “Improving process sustainability in bio-oil transforming for biofuels and platform chemicals production: valorization of the carbon residue”.

Image 2. Graphical abstract of the work “Improving process sustainability in bio-oil transforming for biofuels and platform chemicals production: valorization of the carbon residue”.

El reciente trabajo “A competitive approach for the production of activated carbons from lignocellulosic biomass” publicado en *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2026, (<https://doi.org/10.1007/s10098-025-03400-9>), ver Imagen 3, presenta un enfoque competitivo para la producción de carbones activados a partir de biomasa lignocelulósica, orientado a superar las limitaciones asociadas a su escalado industrial. En este estudio se comparan distintas rutas termoquímicas de obtención, prestando especial atención a la integración de etapas de carbonización y activación en procesos más eficientes. El trabajo analiza parámetros clave

como la superficie específica, la distribución de tamaño de poro y la accesibilidad de la porosidad, demostrando que los carbones activados producidos presentan un alto potencial para aplicaciones en remediación ambiental, especialmente en la eliminación de contaminantes en fase acuosa. En cuanto a la eficiencia del proceso, los resultados muestran que la integración de la pirólisis y activación en una sola etapa permite reducir significativamente el consumo energético, el uso de reactivos y el tiempo de operación, manteniendo o incluso mejorando las propiedades texturales y la capacidad adsorbente de los materiales obtenidos.

En paralelo, el trabajo publicado en *Recycling*, 2026, (<https://doi.org/10.3390/recycling11030050>), ver Imagen 4, profundiza en la valorización integral de residuos lignocelulósicos de poda de manzano mediante la producción de biocarbonos activados e hidrochar, abordando de manera sistemática su aplicación en la adsorción de colorantes orgánicos en medios acuosos. El estudio combina herramientas avanzadas de optimización experimental, como la metodología de superficie de respuesta (RSM), con un análisis cinético detallado y la modelización mecanística del proceso de adsorción, lo que permite identificar no solo las condiciones operativas óptimas (relación sólido-líquido, concentración inicial, temperatura o tiempo de contacto), sino también los mecanismos dominantes de interacción sólido-adsorbato. En particular, se pone de manifiesto la relevancia de fenómenos como la difusión intraparticular, la adsorción en monocapa sobre superficies heterogéneas y las interacciones

π - π y electrostáticas asociadas a la composición aromática y funcional de los materiales. Asimismo, el trabajo establece correlaciones cuantitativas entre las propiedades fisicoquímicas de los adsorbentes —área superficial específica, distribución de poros micro- y mesoporosos, y presencia de grupos funcionales oxigenados— y su rendimiento adsorbente, evidenciando la mayor eficiencia de los materiales activados frente al hidrochar en determinadas condiciones. Desde una perspectiva de ingeniería de procesos, los resultados permiten avanzar hacia el diseño racional de materiales adsorbentes optimizados y altamente selectivos, al tiempo que refuerzan el potencial de los residuos agroforestales como materia prima sostenible para aplicaciones de tratamiento de aguas, contribuyendo al desarrollo de procesos de biorrefinería más eficientes y alineados con los principios de economía circular.

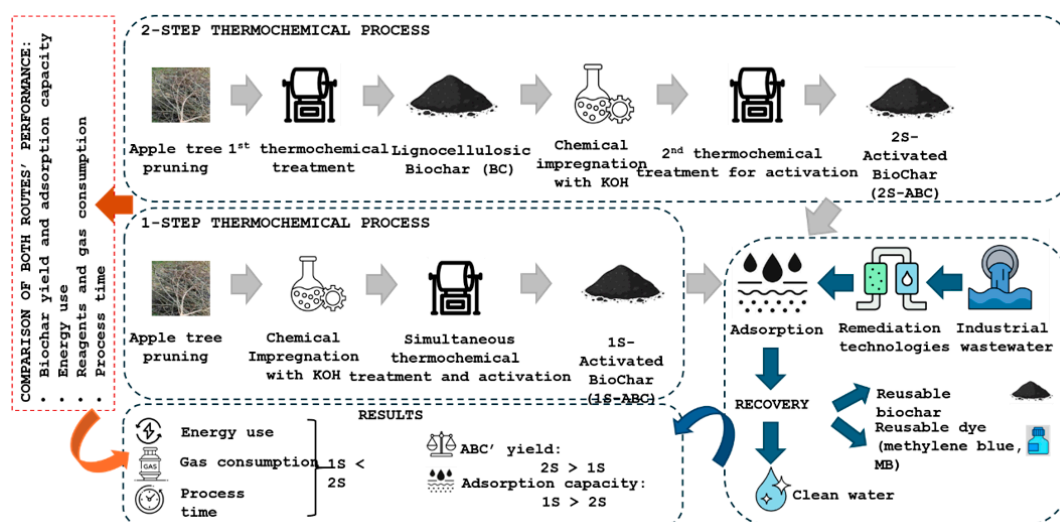


Imagen 3. Resumen gráfico del trabajo "A competitive approach for the production of activated carbons from lignocellulosic biomass".

Image 3. Graphical abstract of the work "A competitive approach for the production of activated carbons from lignocellulosic biomass".

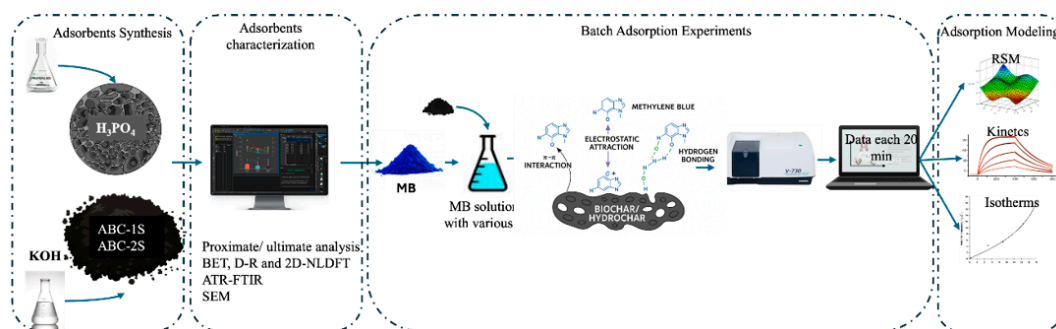


Imagen 4. Resumen gráfico del trabajo "Apple pruning-derived activated biochar and hydrochar for efficient dye adsorption: response surface methodology-guided optimization, kinetic analysis, and mechanistic modelling".

Image 4. Graphical abstract of the work "Apple pruning-derived activated biochar and hydrochar for efficient dye adsorption: response surface methodology-guided optimization, kinetic analysis, and mechanistic modelling".

Referencias

- [1] Ben Salah, A.; Antxustegi, M.M.; Volpe, R.; Corro, E. A competitive approach for the production of activated carbons from lignocellulosic biomass. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2026, 28. <https://doi.org/10.1007/s10098-025-03400-9>.
- [2] Ben Salah, A.; Antxustegi, M.M.; Corro, E.; González Alriols, M. Apple pruning-derived activated biochar and hydrochar for efficient dye adsorption: response surface

methodology-guided optimization, kinetic analysis, and mechanistic modelling. *Recycling*, 2026, 11(3), 50.

<https://doi.org/10.3390/recycling11030050>.

- [3] Valle, B.; Corro, E.; Palos, R.; Crespo, I.; Antxustegi, M.M.; Fatehi, P.; González Alriols, M. Improving process sustainability in bio-oil transforming for biofuels and platform chemicals production: valorization of the carbon residue. *Fuel*, 2024, 364, 130994.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.130994>.

Exploring Materials Science through Graphene: A Hands-On Experience

Explorando la ciencia de materiales a través del grafeno: una experiencia práctica

María González-Ingelmo

Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono, INCAR-CSIC, C/ Francisco Pintado Fe 26, Oviedo, 33011, España

Resumen

Este artículo presenta una actividad de divulgación científica dirigida a alumnado de tercer a quinto curso de Educación Primaria, cuyo objetivo es despertar el interés y la curiosidad por la ciencia de materiales. La propuesta combina una introducción conceptual asequible con una actividad experimental sencilla basada en la conductividad eléctrica.

La experiencia se articula en torno al grafeno, un material de gran relevancia científica desde su descubrimiento en 2004 por Geim y Novoselov, estableciendo un vínculo entre ciencia actual y materiales cotidianos como el grafito de los lápices. A través de un enfoque práctico, el alumnado explora la conductividad eléctrica mediante circuitos sobre papel, favoreciendo la comprensión de la relación entre estructura y propiedades de los materiales de forma intuitiva y motivadora.

Introducción

La ciencia de materiales es una disciplina clave para comprender el mundo que nos rodea, ya que permite explicar por qué los objetos presentan determinadas propiedades y cómo estas dependen de su estructura interna. Sin embargo, estos conceptos suelen resultar abstractos para el alumnado de Educación Primaria si no se abordan a partir de ejemplos cercanos y experiencias prácticas.

En este contexto, la divulgación científica en el aula es una herramienta fundamental para despertar el interés por la ciencia desde edades tempranas. El uso de objetos cotidianos, junto con la formulación de preguntas accesibles, facilita la introducción progresiva de conceptos más complejos, como la relación entre estructura, propiedades y aplicaciones de los materiales.

Un ejemplo especialmente adecuado para abordar este tipo de contenidos es el grafeno. El grafeno es un material que, aunque pueda parecer propio de la ciencia ficción, tiene su origen en algo tan cotidiano como el grafito de un lápiz. Se trata de una única capa de átomos de carbono organizados en una estructura hexagonal, extremadamente fina (de un átomo de grosor) y con propiedades muy singulares, como su gran resistencia y su alta conductividad eléctrica.

Desde su aislamiento en 2004, el grafeno ha suscitado gran interés en la comunidad científica y tecnológica, debido a sus posibles aplicaciones en campos como la electrónica, la energía o los sensores. Sin embargo, más allá de sus aplicaciones,

este material constituye una excelente herramienta didáctica para introducir al alumnado conceptos clave de la ciencia de materiales. En particular, su elevada conductividad eléctrica sirve como punto de partida para la actividad experimental planteada.

Objetivos

El objetivo general de este trabajo es presentar una actividad de divulgación científica que sirva de recurso para docentes de Educación Primaria, facilitando la introducción de conceptos básicos de ciencia de materiales. Los objetivos específicos que se plantean son:

- Diseñar una actividad que despierte el interés y la curiosidad del alumnado hacia la ciencia.
- Introducir conceptos fundamentales de la ciencia de materiales, como la relación entre estructura, propiedades y aplicaciones.
- Utilizar materiales cotidianos para facilitar la comprensión de conceptos científicos.
- Acercar al alumnado a materiales de relevancia actual, como el grafeno.
- Proporcionar una propuesta didáctica sencilla y reproducible en distintos contextos educativos.

Actividades Realizadas

La actividad propuesta se organiza en varias fases que combinan reflexión guiada, participación activa y experimentación, con el objetivo de facilitar la comprensión de conceptos básicos de ciencia de materiales.

1. Exploración de materiales cotidianos

La sesión comienza mostrando una imagen en la que aparecen cubiertos fabricados en distintos materiales, entre ellos madera, metal, cerámica, vidrio y plástico (Figura 1).

A partir de esto, se pide al alumnado que identifique las diferencias entre los distintos objetos y que proponga posibles ventajas e inconvenientes de cada material. La discusión se lleva a cabo mediante preguntas abiertas y breves periodos de reflexión individual antes de compartir las respuestas con el resto del grupo.

Una vez identificados los distintos materiales, se plantea una segunda cuestión: ¿cómo se rompería cada uno de ellos si intentásemos doblarlo o fracturarlo? Este ejercicio permite que los alumnos relacionen intuitivamente cada material con propiedades mecánicas como la fragilidad, la resistencia o la tenacidad.



Figura 1. Cubiertos fabricados en distintos materiales utilizados para analizar las propiedades y el comportamiento de la madera, el vidrio, la cerámica, los metales y el plástico.

Las respuestas obtenidas sirven como punto de partida para introducir la idea de que los materiales presentan comportamientos diferentes debido a su estructura interna. De este modo, se comenta la fragilidad característica del vidrio, la capacidad de los metales para deformarse antes de romperse (tenacidad), la elevada dureza y resistencia que presentan muchas cerámicas o la forma característica en la que la madera se rompe generando astillas.

2. ¿Qué estudia la ciencia de materiales?

Tras la primera reflexión, se introduce la ciencia de materiales mediante preguntas sencillas que permiten comprender el alcance de esta disciplina:

- ¿Cómo son por dentro, ya que se comportan diferente?
- ¿Cómo se fabrican? ¿Es fácil o difícil fabricarlos?
- ¿Cuál es más ligero? ¿Cuál es más duro? ¿Cuál aguanta mejor?
- ¿Cuánto lo puedo calentar o enfriar sin que se rompa?
- ¿Cuándo usamos unos y cuándo usamos otros?

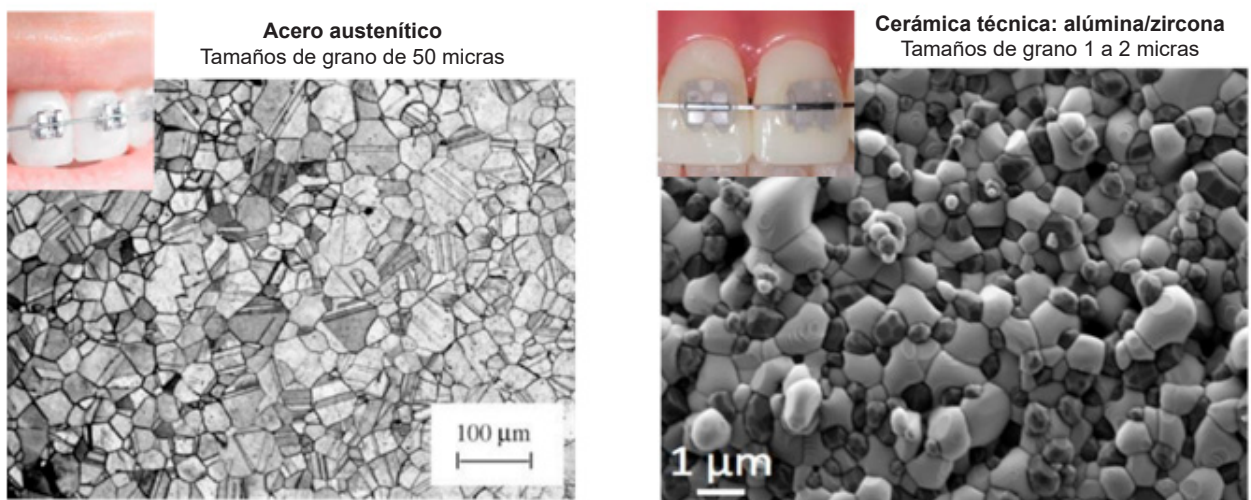
- ¿Cuánto vale?
- ¿Para qué se necesita?
- ¿Puedo hacer que sirva para algo más?

A partir de estas cuestiones se explica que la ciencia de materiales estudia la relación existente entre la forma de fabricar un material, su estructura interna, las propiedades que presenta y las aplicaciones para las que resulta útil.

3. La estructura interna de los materiales

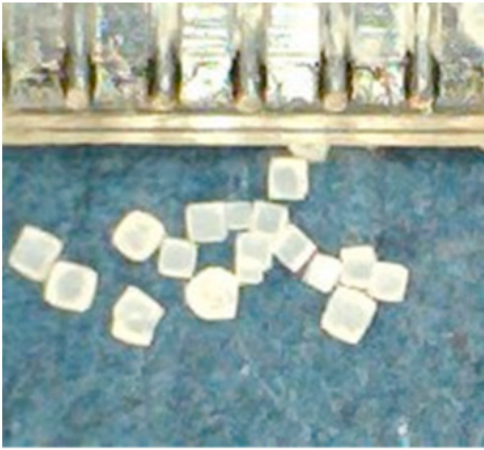
Una vez introducidos los conceptos generales, se explica que los materiales poseen una estructura interna que no puede observarse a simple vista y que determina muchas de sus propiedades.

Para ello se emplean imágenes obtenidas mediante técnicas de microscopía correspondientes a dos materiales diferentes: un acero austenítico y una cerámica técnica de alúmina/zircona (Figura 2). En ambas imágenes pueden apreciarse los granos que constituyen la estructura del material. Sobre cada micrografía se incorpora además la fotografía de unos brackets de ortodoncia fabricados con dichos materiales, facilitando la conexión entre un objeto cotidiano y su estructura interna.

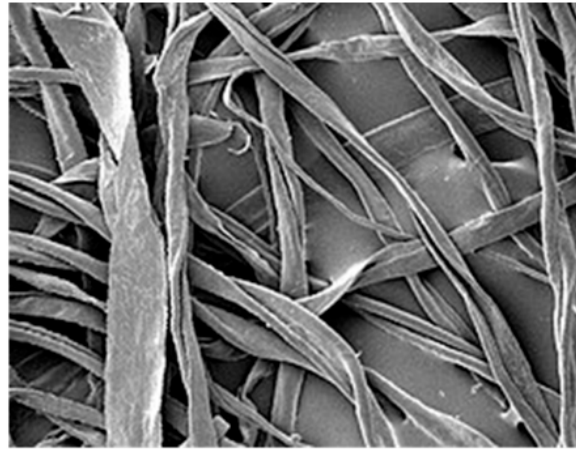


1 micra μm = 0,001 mm

Figura 2. Microestructuras de un acero austenítico y una cerámica técnica de alúmina/zircona para ilustrar que materiales diferentes presentan estructuras internas distintas.



Sal común



Fibras de algodón

Figura 3. Imágenes de microscopía de materiales cotidianos utilizadas para introducir la observación científica.

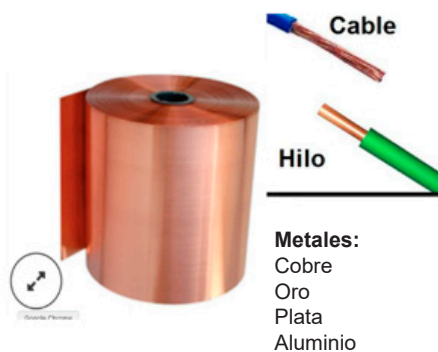
La actividad se plantea en forma de discusión guiada. Más que identificar correctamente las imágenes, el objetivo es que los alumnos observen y describan lo que ven. Se les pregunta cuál de las dos micrografías les resulta más atractiva y por qué. A partir de sus respuestas se introduce la idea de que distintos observadores pueden fijarse en aspectos diferentes de una misma imagen científica. Por ejemplo, la micrografía de la cerámica suele llamar la atención porque el relieve generado por los granos transmite una sensación de rugosidad y tridimensionalidad, mientras que la de acero suele percibirse como una imagen más uniforme y plana. Posteriormente, se presentan nuevas imágenes de microscopía de materiales cotidianos sin revelar inicialmente su identidad, proponiendo al alumnado un pequeño reto de observación. En esta actividad deberán intentar deducir qué material se observa a partir de su aspecto microscópico. Entre los ejemplos utilizados se incluyen cristales de sal común y fibras de algodón (Figura 3).

Esta actividad permite acercar al alumnado el trabajo científico basado en la observación, al tiempo que refuerza una de las ideas principales de la sesión: materiales diferentes presentan estructuras diferentes, y, en consecuencia, propiedades y aplicaciones distintas.

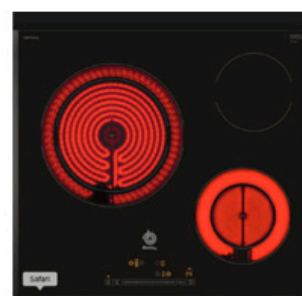
4. Propiedades y aplicaciones de los materiales

Una vez comprendido que los materiales presentan estructuras internas diferentes y que estas determinan sus propiedades, se plantea una nueva cuestión: ¿por qué utilizamos unos materiales para determinadas aplicaciones y otros para aplicaciones distintas?

Para responder a esta pregunta se muestran diversos ejemplos de materiales presentes tanto en el entorno cotidiano como en la industria, entre ellos una bobina y un hilo de cobre utilizados en aplicaciones eléctricas, una placa vitrocerámica, una vajilla de porcelana y una bobina de acero durante su procesamiento industrial (Figura 4).



Cerámica: Porcelana



Vitrocerámica:
Mezcla vidrio/cerámica



Metales: Acero muy caliente para moldearlo

Figura 4. Uso de distintos materiales en aplicaciones cotidianas e industriales.

A través de una discusión guiada, el alumnado reflexiona sobre qué propiedades hacen que cada material sea adecuado para una determinada función. De este modo, se introducen propiedades como la elevada conductividad eléctrica del cobre, que permite su utilización en cables y circuitos eléctricos; la resistencia de los materiales cerámicos frente a altas temperaturas o las propiedades mecánicas de los materiales metálicos, que explican su amplio uso en procesos industriales y estructuras.

Esta reflexión refuerza la idea de que la elección de un material no es arbitraria, sino que depende de las propiedades que se necesitan para una aplicación concreta.

Como conclusión de esta parte de la actividad se muestran ejemplos de aplicaciones tecnológicas más avanzadas, como cohetes espaciales y sistemas de aprovechamiento de energía solar. Estas imágenes permiten plantear una nueva pregunta: ¿para qué queremos nuevos materiales? La discusión pone de manifiesto que el desarrollo de materiales más ligeros, resistentes, eficientes o sostenibles ha sido fundamental para hacer posibles muchos avances tecnológicos.

Finalmente, se invita al alumnado a imaginar qué materiales podrían descubrirse en el futuro y para qué aplicaciones podrían utilizarse. Esta reflexión sirve como transición hacia la siguiente parte de la actividad, dedicada a los materiales de carbono, y en particular, al grafeno, uno de los materiales más estudiados en las últimas décadas.

5. Materiales de carbono: del grafito al grafeno

La siguiente actividad se centra en los materiales de carbono. Se presentan ejemplos conocidos como el diamante y el grafito, destacando que un mismo elemento químico puede dar lugar a materiales con propiedades muy distintas.

A partir del grafito de los lápices, material familiar para todo el alumnado, se introduce el grafeno como una única capa de átomos de carbono organizada en una estructura hexagonal. Se explica que esta disposición es responsable de muchas de sus propiedades excepcionales, entre ellas su elevada conductividad eléctrica.

Para reforzar este contenido se puede complementar la actividad con un recurso audiovisual divulgativo sobre el grafeno, adaptado al nivel educativo del alumnado. El video Descubre con Tadeo: Instituto de Ciencias Fotónicas presenta de forma amena algunas de las características y aplicaciones del grafeno. Se puede acceder al vídeo desde el siguiente enlace:

https://www.telecinco.es/tadeojones/descubre-con-tadeo/capitulo-instituto-ciencias-fotonicas_18_1682655222.html

Tras el visionado, se realiza una breve puesta en común en la que los alumnos comentan los aspectos que más les han llamado la atención y

recuerdan algunas de las propiedades del grafeno mencionadas en el vídeo. Esta discusión permite consolidar la idea de que la estructura de un material condiciona sus propiedades y sus posibles aplicaciones tecnológicas.

Finalmente, se plantea una pregunta que servirá de puente hacia la actividad experimental: si el grafeno es un excelente conductor eléctrico y el grafito está formado por múltiples capas de grafeno, ¿será también el grafito capaz de conducir la electricidad? La respuesta a esta cuestión se explora mediante la experiencia práctica descrita en el apartado siguiente.

6. Actividad experimental: construcción de circuitos de grafito

Para realizar esta actividad, cada estudiante o grupo recibe una hoja de trabajo (ver Figuras 5 y 6) con información introductoria sobre el grafeno, las instrucciones de la actividad y una serie de cuestiones que deberán responder a partir de sus observaciones. Asimismo, se proporciona el material necesario para la realización de la práctica: un lápiz de grafito 2B, un portapilas con conectores tipo cocodrilo y una bombilla LED.

La práctica comienza construyendo un circuito eléctrico sencillo para familiarizar al alumnado con los distintos elementos que lo componen. Posteriormente, siguiendo las instrucciones de la hoja de trabajo, los estudiantes rellenan con el lápiz uno de los cuadrados, tratando de depositar una capa continua de grafito. A continuación, se desconecta el lado rojo del cocodrilo y se apoya el hilo de cobre sobre un extremo de donde han depositado el grafito y el cocodrilo sobre el otro extremo. La bombilla debería encenderse si la capa de grafito depositada es suficientemente continua.

A partir de este momento, la actividad adquiere un carácter más exploratorio. El alumnado puede comparar zonas de distinta longitud, modificar la posición de los puntos de contacto o evaluar la influencia de la cantidad de grafito depositada. Estas pequeñas variaciones permiten observar cambios en la intensidad luminosa del LED y favorecen la formulación de hipótesis sobre el comportamiento eléctrico del material.

Durante el desarrollo de la práctica es habitual que algunos estudiantes no consigan encender el LED en el primer intento, bien porque la capa de grafito no sea suficientemente continua o porque existan pequeños errores en las conexiones. Estas situaciones se aprovechan como oportunidades de aprendizaje, animando al alumnado a revisar el montaje, identificar posibles problemas y proponer soluciones. La sorpresa que genera comprobar que un simple trazo realizado con un lápiz puede actuar como conductor eléctrico constituye uno de los aspectos más motivadores de toda la actividad.

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

MATERIALES RELEVANTES EN ESTE SIGLO

GRAFENO

Lápices: no están hechos de plomo-eso sería realmente peligroso!
Están hechos de **grafito**

El Grafito a escala atómica se parece a esto:

Posee muchas capas de átomos de carbono unas encima de otras y se organizan en forma de hexágonos, cada bolita sería un átomo de **Carbono**! A esto los científicos lo llamamos organización de **panal de abeja**

Si pelásemos cada capa hasta que pudiesemos quedarnos solo con **UNA** capa atómica...

Entonces tendríamos unos de los materiales más resistentes en el mundo!

“GRAFENO”

De la misma forma en que los médicos usan los rayos X para detectar huesos rotos, nosotros podríamos aprovechar que el grafeno es muy buen conductor eléctrico para detectar grietas en los edificios!.

ACTIVIDAD: ¿Significa todo esto que el grafito de tu lápiz es También un buen conductor eléctrico? Si esto es así, entonces podemos dibujar unos cables para encender unas bombillas LED. ¿Lo intentamos?

Figura 5. Material didáctico para la actividad experimental sobre grafeno y conductividad eléctrica (1).



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



CSIC



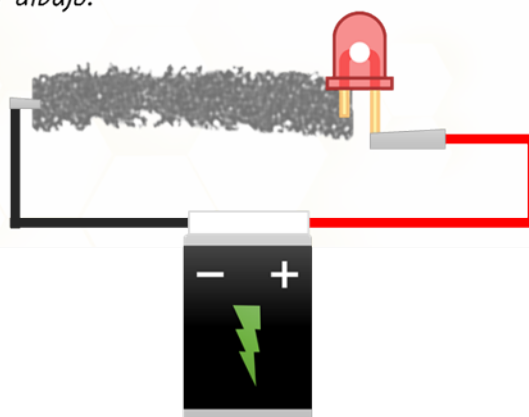
CIRCUITOS DE PAPEL:

¿Cómo dibujar cables a partir de un lápiz?

Qué necesitas

- Pila 9V
- Lápiz 2B
- Conectores cocodrilo (rojo y negro)
- Bombilla LED (ROJO, AMARILLO, VERDE)

Instrucciones: Crea el circuito que se muestra en el dibujo:



CONSEJOS!

Extremo largo – Rojo Conecta el cable rojo(positivo) al extremo largo del LED

Intenta no conectar el circuito sin el grafito en el medio o el LED podría **QUEMARSE!!**

1- **Rellena las dos Casillas A y B con lápiz** – comprueba que las has rellenado completamente consiguiendo una capa brillante de grafito.

i) **Comprueba el circuito en cada casilla-**

¿Cuál de las dos casillas ilumina mejor el LED? ¿La corta o la larga?

¿Por qué crees que sucede eso?

ii) **Intenta mover el LED mas cerca del otro cocodrilo**

¿Qué ocurre?

¿Por qué crees que sucede eso?

iii) **Compara el grafito depositado con tu lápiz con el papel de grafito?**

Con cuál se consigue mayor iluminación del LED? ¿Por qué crees que sucede eso?

Rellenar



Rellenar



2- **Ahora prueba tu propio diseño:**

Figura 6. Material didáctico para la actividad experimental sobre grafeno y conductividad eléctrica (2).

7. Implementación y adaptación de la actividad

La actividad ha sido desarrollada en contextos educativos muy diversos, tanto en aulas convencionales como en acciones de divulgación realizadas en salones de actos y espacios de mayor capacidad. A lo largo de los años se ha implementado con grupos reducidos de aproximadamente 25 estudiantes, en los que cada participante dispone de su propio material experimental, así como en sesiones con hasta 100 alumnos, donde los materiales son compartidos entre pequeños grupos de trabajo.

La duración total de la actividad es de aproximadamente 45 a 60 minutos. La primera parte se dedica a la introducción de conceptos básicos de ciencia de materiales mediante preguntas, ejemplos cotidianos y discusión guiada, mientras que la segunda se centra en la realización de la actividad experimental relacionada con el grafito y la conductividad eléctrica.

La propuesta ha sido diseñada para alumnado de tercer a quinto curso de Educación Primaria, aunque puede adaptarse fácilmente a otros niveles educativos modificando la profundidad de las explicaciones o ampliando los contenidos relacionados con la estructura de los materiales y sus aplicaciones tecnológicas.

El carácter visual y participativo de la actividad, unido al empleo de materiales sencillos y de bajo coste, facilita su implementación en diferentes contextos educativos y de divulgación científica, permitiendo que cualquier docente pueda reproducirla con recursos fácilmente accesibles.

Resultados

La actividad ha sido impartida por varios miembros del grupo de Materiales Compuestos del Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC) en numerosos centros educativos de Educación Primaria y Secundaria, así como en distintas acciones de divulgación científica organizadas en el marco de la Semana de la Ciencia y la Tecnología del CSIC.

La experiencia ha mostrado una elevada capacidad para captar la atención del alumnado, especialmente durante la parte experimental, en la que los estudiantes comprueban que un simple trazo realizado con un lápiz puede conducir la corriente eléctrica y encender un LED. Este resultado genera habitualmente sorpresa y favorece la participación activa durante toda la sesión.

Desde el punto de vista educativo, la actividad permite introducir conceptos fundamentales de ciencia de materiales, ayudando al alumnado a comprender que la estructura de un material influye directamente en sus propiedades y aplicaciones. Asimismo, facilita la familiarización con materiales de interés científico actual, como el grafeno, a partir de ejemplos cercanos y fácilmente reconocibles por los estudiantes.

Durante el desarrollo de la práctica, los alumnos deben observar, formular hipótesis, interpretar resultados y resolver pequeñas dificultades experimentales relacionadas con el montaje del circuito. Estas tareas favorecen el razonamiento científico, la resolución de problemas y el aprendizaje a través de la experimentación.

Cuando la actividad se realiza en pequeños grupos, también se observa el desarrollo de competencias relacionadas con el trabajo cooperativo, la comunicación y la coordinación de tareas. Asimismo, la manipulación de materiales y componentes sencillos contribuye al desarrollo de habilidades psicomotrices y destrezas manuales.

En términos generales, los principales resultados observados pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Incremento de la curiosidad e interés por la ciencia y la tecnología.
- Introducción a conceptos básicos de ciencia de materiales.
- Comprensión elemental de la conductividad eléctrica y los circuitos.
- Familiarización con materiales de carbono y con el grafeno.
- Desarrollo de capacidades de observación, formulación de hipótesis e interpretación de resultados.
- Fomento del trabajo en equipo y de las habilidades manipulativas.
- Acercamiento a la investigación científica mediante ejemplos y materiales de actualidad.

Conclusiones

La actividad presentada permite introducir conceptos básicos de ciencia de materiales a través de una experiencia práctica sencilla, accesible y motivadora. Partiendo de ejemplos cotidianos y del grafito presente en los lápices, el alumnado puede comprender la relación entre estructura, propiedades y aplicaciones de los materiales, al tiempo que se familiariza con un material de gran relevancia científica como el grafeno.

La experiencia ha demostrado ser fácilmente adaptable a distintos contextos educativos y constituye una herramienta útil para despertar el interés por la ciencia y acercar la investigación actual a las aulas de Educación Primaria.

Agradecimientos

La autora agradece el apoyo recibido a través del proyecto IDE/2024/000737, financiado por la Agencia SEKUENS (Gobierno del Principado de Asturias).

Bibliografía

Menéndez, Rosa; Blanco, Clara. El grafeno. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); Los Libros de la Catarata, 2014. (¿Qué sabemos de?; 57). ISBN 978-84-00-09886-5.

Catalytic hydrodeoxygenation of Bio-Oils: evaluation of operating conditions in a batch reactor and in a continuous trickle-bed reactor

Jesús A. Gracia Soguero

jesusgracia1606@gmail.com

Presented in January 2026, Grupo de Conversión de Combustibles, Instituto de Carboquímica, ICB-CSIC. Miguel Luesma Castán 4, 50018, Zaragoza, Spain

Supervisors: Dr. Isabel Suelves Laiglesia (ICB-CSIC) and Dr. José Luis Pinilla Ibarz (ICB-CSIC).

Objectives and novelty

Fast pyrolysis of lignocellulosic biomass is a promising route for producing renewable liquid intermediates. However, raw bio-oils contain large amounts of oxygenated compounds and water, which results in low heating value, high acidity and viscosity, poor stability and limited miscibility with conventional fuels. Catalytic hydrodeoxygenation (HDO) is therefore a key upgrading step to obtain more stable liquid fuels and/or valuable chemical intermediates.

Conventional HDO catalysts based on noble metals or sulfided transition metals still present important drawbacks, such as high cost, sulfur contamination of the products or deactivation under severe hydroprocessing conditions. In this context, transition-metal carbides, especially molybdenum carbide supported on carbon nanofibers ($\text{Mo}_2\text{C}/\text{NFC}$), represent an attractive sulfur-free alternative because of their noble-metal-like catalytic properties, lower cost and high stability.

The main objective of this PhD thesis was to evaluate the performance of a $\text{Mo}_2\text{C}/\text{NFC}$ catalyst in the HDO of lignocellulosic bio-oils, moving from batch experiments to a continuous trickle-bed reactor. The work builds on previous studies with model compounds and extends the approach to real biomass-derived feeds, addressing process optimization, catalyst stability and operation under more realistic continuous conditions.

Results

The first part of the thesis focused on the HDO of a lignocellulosic bio-oil in a batch reactor. Temperature, initial H_2 pressure, reaction time and catalyst-to-bio-oil ratio strongly affected both the conversion of the feed and the product distribution into upgraded bio-oil, aqueous phase, gas and solid residue. The upgraded liquid was mainly composed of phenols, cyclic ketones, carboxylic acids, esters and aromatic compounds. Under optimized conditions (350°C , 40 bar H_2 , 0.19 g catalyst per g bio-oil and 1 h), 65% of the organic fraction was converted into a liquid product with a higher heating value of 30 MJ kg^{-1} , approximately twice that of the original feed, with a deoxygenation degree of 70% and an energy efficiency of 62%. Milder conditions (250°C , 20 bar H_2 and 0.14 g catalyst per g bio-oil for 0.5 h) favored the production of a phenol-rich liquid fraction.

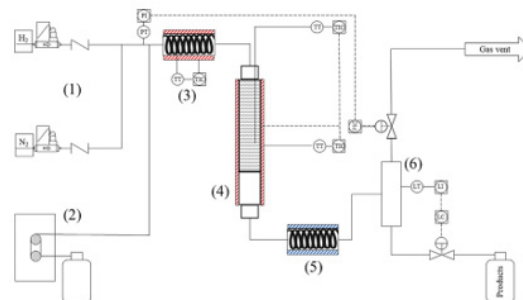


Figure 1. Schematic representation and laboratory set-up of the continuous trickle-bed reactor used for HDO experiments.

In the second part, guaiacol was used as a representative model compound for lignin-derived phenolics in the continuous reactor shown in Figure 1. The effect of H_2 pressure, temperature and weight hourly space velocity on benzene production was evaluated. At 75 bar H_2 and 350°C , guaiacol conversion reached 90-98%, with benzene/cyclohexane contents in the liquid product as high as 81%. Reducing the space velocity from 10 to 4 $\text{g}_{\text{org}}\text{ gcat}^{-1}\text{ h}^{-1}$ improved deoxygenation and catalytic stability. A 30 h stability test showed stable conversion and no significant catalyst deactivation, while post-reaction characterization confirmed the preservation of the carbide phase.

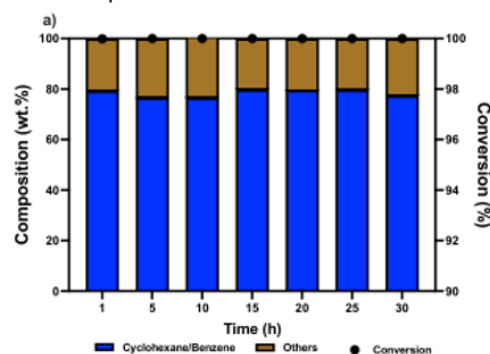


Figure 2. Stability tests in guaiacol HDO at 350°C , 75 bar H_2 and $4\text{ g}_{\text{org}}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{cat}\cdot\text{h}^{-1}$.

Finally, the continuous reactor was applied to the HDO of a real lignin-derived bio-oil fraction. When methanol was used as solvent and hydrogen donor, excessively high temperatures promoted gasification, whereas lower temperatures led to insufficient activity and selectivity. Intermediate conditions, particularly 400 °C, favored the formation of phenols and alkanes and improved the energy properties of the upgraded liquid. Lower space velocities enhanced deoxygenation due to the longer contact time between feed and catalyst. Among methanol, ethanol and propanol, propanol was the most effective hydrogen donor, decreasing the oxygen content and promoting the formation of phenolic and cyclic compounds. Under the selected conditions (propanol, 400 °C and 4 mL gcat⁻¹ h⁻¹), Mo₂C/NFC exhibited stable performance during 10 h of continuous operation.

Conclusions

This thesis demonstrates that molybdenum carbide supported on carbon nanofibers is an efficient, stable and sulfur-free catalyst for the hydrodeoxygenation of biomass-derived bio-oils. In batch operation, the catalyst enabled the conversion of lignocellulosic bio-oil into upgraded liquids with higher heating value and lower oxygen content. In continuous operation, it showed high activity and stability for guaiacol HDO, with remarkable selectivity towards deoxygenated products and no significant deactivation during long-term experiments.

The use of real bio-oil feeds in a continuous trickle-bed reactor represents an important step towards more realistic process conditions. The results highlight the importance of controlling temperature, space velocity and hydrogen-donor solvent to balance deoxygenation, liquid yield and selectivity. Overall, Mo₂C/NFC is validated as a promising catalytic system for producing renewable fuels and value-added chemicals from lignocellulosic bio-oils.

References

[1] Remón, J., Casales, M., Gracia, J., Callén, M. S., Pinilla, J. L., & Suelves, I. (2020). Sustainable production of liquid biofuels and value-added platform chemicals by hydrodeoxygenation of lignocellulosic bio-oil over a carbon-neutral Mo₂C/CNF catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 405, 126705.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126705>

[2] Gracia, J., Ayala-Cortés, A., Di Stasi, C., Remón, J., Torres, D., Pinilla, J., & Suelves, I. (2024). Highly selective catalytic hydrodeoxygenation of guaiacol to benzene in continuous operation mode. *Fuel Processing Technology*, 255, 108064.

<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2024.108064>

Development of sustainable carbon-supported catalysts for their incorporation into electrochemical devices

Miriam López García

miriam.lopezg@outlook.es

Presentada en marzo de 2026 en Facultad de Química de la Universidad de Oviedo. Centro de realización: Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC).

Directores de Tesis: Ricardo Santamaría Ramírez y Victoria García Rocha. Afiliación: Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC).

Objectives and novelty

Renewable energies have become a key alternative to conventional fossil fuels in the transition towards a more sustainable energy system, contributing to the reduction of greenhouse gas emissions and the mitigation of climate change. Nevertheless, their inherent intermittency creates the need for energy vectors capable of efficiently storing and transporting energy through time and space. Among these, green hydrogen has emerged as one of the most promising options. It can be sustainably produced through water electrolysis powered by renewable electricity, where the oxygen evolution reaction (OER) and the hydrogen evolution reaction (HER) take place. Moreover, similar electrochemical devices can be employed to perform the carbon dioxide reduction reaction (CO₂RR), enabling the conversion of CO₂ into value-added products. Nevertheless, the widespread implementation of these technologies requires improving their energy efficiency and economic viability. In this regard, reducing the overpotential associated with the electrochemical reactions through the development of efficient catalysts and the optimisation of operating conditions is essential to decrease the energy demand of the processes.

Therefore, the main objective of this thesis is the development of sustainable transition-metal-based catalysts supported on carbon materials for their integration into electrochemical devices. The catalytic performance of these materials is evaluated for the three mentioned reactions: the oxygen evolution reaction (OER), the hydrogen evolution reaction (HER), and the carbon dioxide reduction reaction (CO₂RR).

The specific objectives of this thesis are:

- To develop transition-metal-based catalysts supported on reduced graphene oxide for alkaline water splitting, with a particular focus on the OER.
- To develop transition-metal-based catalysts self-supported on carbon fibre paper for alkaline seawater splitting, targeting both the OER and HER.
- To define the electrochemical operating window for CO₂RR using a copper-based catalyst under neutral and acidic electrolyte conditions.

Results

To address the first specific objective, the work focused on OER, the step with the greatest kinetic limitations.

Transition-metal-based catalysts supported on reduced graphene oxide were developed for the alkaline OER. The synthesis strategy, based on freeze-casting followed by thermal reduction, enabled the preparation of aerogels with a distinctive porous structure and a homogeneous distribution of bimetallic nanoparticles (Figure 1). Furthermore, the method proved highly versatile, allowing the incorporation of different transition metal combinations, such as nickel, iron, and cobalt, in varying compositions, thereby demonstrating its potential for the tailored design of electrocatalysts.

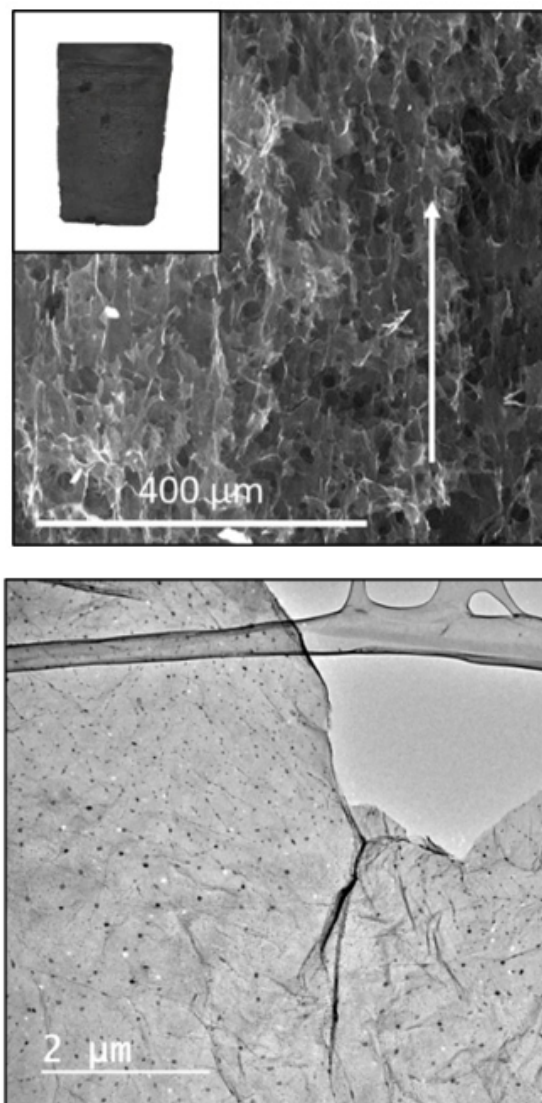


Figure 1. Morphological characterisation of the synthesised aerogels by SEM and TEM.

The aerogels with nanoparticles synthesised by this processing route exhibited activity and stability for OER comparable to a reference NiFe-LDH catalyst supported on reduced graphene oxide and synthesised by a hydrothermal route. The aerogels showed overpotentials ranging 400–450 mV at 10 mA cm⁻², a Tafel slope of 84.8 mV dec⁻¹ and great stability for twelve hours when a low amount of catalyst is tested. An interesting finding is that doping the nickel-based nanoparticles with iron instead of cobalt resulted in a better catalytic activity towards the OER, offering valuable insight into how different dopants can tune the performance of nickel catalysts. Moreover, they showed a remarkable sensitivity to electrolyte impurities, making them particularly suitable for fundamental OER studies. This synthesis route showed great potential for producing well-dispersed nanoparticulate catalysts with tunable properties, offering a versatile platform for further development and optimisation.

To address the limitations associated with freshwater scarcity, seawater electrolysis was also explored, a process that presents additional challenges due to the presence of chlorides and other dissolved species. This study represents the second specific objective of this thesis, in this context, self-supported transition-metal-based catalysts were developed on carbon fibre paper for alkaline seawater splitting. Four catalysts, based on nickel and doped with cobalt, iron and cerium oxide (NiCo, NiCo-CeO₂, NiFe and NiFe-CeO₂), were synthesised by electrodeposition followed by thermal reduction. Electrodeposition proved to be an advantageous technique, as it is simple, efficient and allows precise control over the formation of uniform coatings. The use of carbon paper as a substrate further contributed to robustness and an open, fibre-based structure that promoted the homogeneous distribution and penetration of the deposits. This simple and scalable approach enabled the preparation of homogeneous coatings on the open fibre network of the carbon substrate that were directly used as working electrode.

The electrocatalytic performance of the catalysts was evaluated for both HER and OER in alkaline simulated seawater (1M KOH + 0.5M NaCl), showing that iron doping improved OER activity, while cobalt doping enhanced the HER. Additionally, cerium oxide further enhanced the catalytic performance, particularly in the nickel-cobalt catalyst. For HER, all materials exhibited low overpotentials and excellent long-term stability, with NiCo-CeO₂ delivering the best performance ($\eta_{100} = 359 \pm 22$ mV and stable operation for 120 h at -100 mA cm⁻²) attributed to the synergistic role of doping the nickel-based catalyst with cobalt and cerium oxide. For OER, the iron-containing catalysts showed the highest activity, particularly NiFe-CeO₂ ($\eta_{100} = 421 \pm 11$ mV and stability for 120 h at 100 mA cm⁻²) (Figure 2). In this case, cerium doping was more beneficial for the cobalt-based system, while the iron-based catalysts already exhibited superior OER performance on their own. Importantly, all catalysts operated

below the potential required for the competing hypochlorite formation reaction, and iodometric analyses confirmed its suppression. These results demonstrate the potential of these sustainable and low-cost catalysts for seawater electrolysis under industrially relevant current densities.

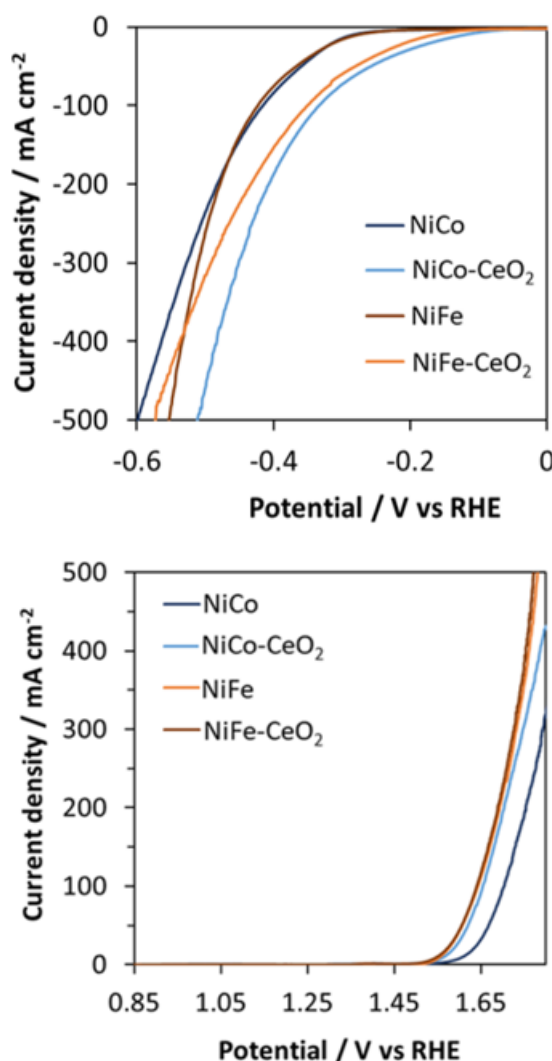


Figure 2. Catalytic activity of the catalysts determined by LSV in synthetic seawater electrolyte towards HER and OER.

Finally, a systematic study was conducted to map the CO₂ electroreduction (CO₂RR) operational window on a copper nanocubes catalyst in a series of electrolytes with markedly different physicochemical properties, with the objective of correlating electrolyte composition and applied current density with catalytic selectivity, reaction feasibility, and the stability of CO₂RR performance under acidic conditions.

Four electrolytes were investigated: bicarbonate, oxalic acid, hydrochloric acid, and sulfuric acid, each providing distinct buffering behaviour, proton availability, and interfacial transport conditions.

Across the tested current density range, clear electrolyte-dependent selectivity regimes were identified: bicarbonate enabled high CO₂RR selectivity at low current densities (40–80 mA cm⁻²), oxalic acid and hydrochloric acid performed best at intermediate current densities (80–120 mA cm⁻²), and sulfuric acid became more favourable at high current

densities (160-200 mA cm⁻²), where stronger proton activity supports sustained operation. When the working electrode potential was considered, several of these windows narrowed due to unfeasibly high potentials, showing that practical operation requires optimising selectivity and energy cost. These results demonstrate that efficient CO₂RR in acidic media is governed primarily by the ability of each electrolyte to establish a favourable interfacial environment (balancing local pH and CO₂ availability under operating current), rather than by the preservation of a specific catalyst morphology.

Conclusions

Catalysts supported on carbon-based materials were successfully developed and evaluated for three key electrochemical reactions: OER, HER and CO₂RR. Carbon materials played a central role in electrode performance by enabling homogeneous dispersion of catalyst precursors, providing electrical conductivity, chemical and thermal stability, and increasing the effective surface area, all of which enhanced catalytic activity. The versatility of carbon materials enabled their compatibility with different synthesis routes, including water-based methods, thermal reductions and electrodeposition. All catalysts developed in this thesis were based on earth-abundant transition metals, avoiding noble metals and aligning with sustainability principles. Overall, the electrochemical results for the three reactions (OER, HER and CO₂RR) contribute to the development of advanced carbon-supported catalysts and represent a step forward towards sustainable electrochemical technologies for energy conversion and climate-change mitigation.

Acknowledgements

Miriam López García acknowledges financial support from the Ministry of Science, Innovation and Universities through a FPI contract (PRE2020-095966).

References

[1] M. López García, M. González-Ingelmo, O. Usoltsev, F.E. Oropeza, J. Timoshenko, B. Roldan Cuenya, R. Santamaría, C. Blanco, V.G. Rocha, "NiFe and NiCo core-shell nanoparticles supported on graphene as efficient catalysts for oxygen evolution reaction", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 130, pp. 313-323, May 2025, doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.04.381.

Full Thesis can be downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10261/425640>

Advanced materials for Chemical Looping processes

A. Filsouf

afilouf@icb.csic.es

Presented in 2026, Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain.

Supervisors: Maria Teresa Mendiara Negredo (Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC), Spain) and Iñaki Adánez Rubio (Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC), Spain).

Objectives and novelty

The persistent increase in atmospheric greenhouse gas concentrations is primarily driven by anthropogenic activities, with CO₂ emissions constituting the predominant contributory factor. These emissions largely arise from the combustion of fossil fuels for energy generation. Among the various mitigation strategies proposed to address CO₂ emissions, Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) has emerged as a promising approach, as it enables simultaneous energy production and the achievement of net-negative CO₂ emissions. Within this framework, Chemical Looping Combustion (CLC) represents an advanced carbon capture technology. CLC enables combustion through the transfer of oxygen from a solid metal oxide oxygen carrier (OC), which undergoes cyclic redox reactions between two interconnected reactors, namely the fuel reactor and the air reactor. A specific operational variant of CLC, particularly suitable for solid fuels, is Chemical Looping with Oxygen Uncoupling (CLOU). In the CLOU process, the oxygen carrier releases gaseous oxygen within the fuel reactor, allowing fuel conversion to proceed via mechanisms analogous to conventional combustion. This feature enhances reaction kinetics and improves overall system efficiency.

Despite these advantages, the development of CLOU technology remains limited to Technology Readiness Level (TRL) 4, indicating that significant challenges remain before its deployment at industrial scale. In particular, the identification and optimization of suitable oxygen carriers with effective oxygen uncoupling properties remain critical.

The objective of this doctoral thesis was to develop oxygen carrier materials for CLOU processes with magnetic properties and improved lifetime at TRL 5. Formulations were designed to combine high reactivity, redox stability, and magnetic response. Newly formulated materials were tested in a 50 kW_{th} CLC unit at Instituto de Carboquímica, achieving for the first time a technological readiness level TRL 5 for CLOU process. The results improve process efficiency and provide design criteria for industrial application in this type of CO₂ capture systems.

Results

To advance the CLOU process toward TRL 5, Cu-based oxygen carriers supported on magnetic MnFe spinels were developed with varying kaolin content to enhance mechanical stability using

scalable granulation. Improved crushing strength was achieved only after calcination at 1100 °C. Screening of the synthesized oxygen carriers was conducted using thermogravimetric analysis, mechanical characterization, and batch fluidized bed testing. Cu₃₀MnFekao7.5_1100, exhibited stable redox performance without agglomeration. Further investigation of the selected Cu₃₀MnFekao7.5 oxygen carrier in a 1.5 kW_{th} continuous CLOU unit (TRL4) confirmed robust performance across different biomass fuels. Several performance parameters were evaluated, including combustion efficiency, which quantifies the extent of fuel conversion within the fuel reactor, and the CO₂ capture efficiency which is defined as the fraction of carbon converted to gaseous products in the FR relative to the total amount of carbon converted to gas in the entire unit. Complete combustion was achieved even at 800 °C, while CO₂ capture efficiency reached 97.4% at 950 °C during combustion of pine sawdust in the 1.5 kW_{th} unit. After 80 hours of operation, the material showed no agglomeration and retained its magnetic properties, enabling efficient separation from ash. Ash–oxygen carrier interactions were studied at TRL4 by comparing Cu₃₀MnFekao7.5 with a kaolin-free oxygen carrier, Cu₃₀MnFe. While Cu₃₀MnFe exhibited negligible ash interaction after 15 hours, Cu₃₀MnFekao7.5 showed gradual accumulation of Mg and K, with concentrations doubling after 56 hours.

Despite similar reactivity and stability, the increased ash interaction and production challenges associated with kaolin-containing oxygen carriers led to the selection of Cu₃₀MnFe as the preferred candidate for scale-up to TRL 5. This material was successfully tested in a 50 kW_{th} CLC unit, representing a significant advancement toward industrial deployment. During a 40h experimental campaign, high performance was maintained across three types of biomass as well as Taldinsky coal (the later used as reference for comparison with previous results). A CO₂ capture efficiency of 93% was achieved at 886 °C for pine sawdust, along with a low oxygen demand of 4.6%. Figure 1 illustrates one of the key findings of this study, namely the transition in combustion mechanism from in situ gasification chemical looping combustion (iG-CLC) to CLOU. This transition is particularly beneficial for enhancing combustion efficiency, especially at temperatures above 850 °C. The figure presents the relationship between total oxygen demand, defined as the amount of oxygen required during the oxygen polishing step to fully oxidize unconverted gaseous species, and CO₂ capture efficiency during the

combustion of various biomass fuels and coal. In all cases, an increase in temperature leads to higher CO₂ capture efficiency. At lower temperatures, the results show that oxygen demand increases with CO₂ capture efficiency, which can be attributed to the enhanced generation of gasification products. Under these conditions, combustion predominantly proceeds via the *i*G-CLC mechanism, in which the products of char gasification react with the oxygen carrier following a gas-solid reaction. The interaction between gasification products and the oxygen carrier dominates the overall process, resulting in an increased oxygen demand. A similar trend is observed

for CLOU materials operating at relatively low temperatures. However, as the temperature exceeds approximately 850 °C, a clear shift in combustion behavior is observed. In the cases of olive stone and pine sawdust, oxygen demand decreases despite increasing CO₂ capture efficiency, indicating that the oxygen uncoupling mechanism becomes dominant. In this regime, gaseous oxygen released from the oxygen carrier contributes significantly to biomass combustion, as in conventional combustion. As a result, under these conditions, CLOU oxygen carriers release a higher amount of gaseous oxygen, thereby reducing the overall oxygen demand.

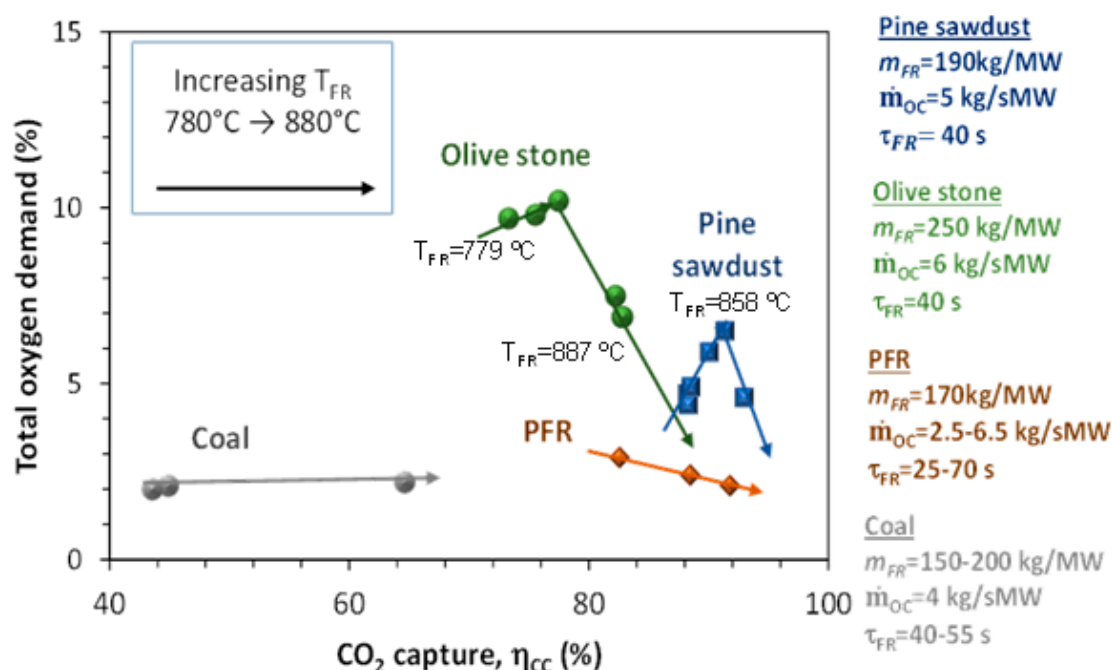


Figure 1. CO₂ capture efficiency and total oxygen demand for various fuels tested with Cu30MnFe oxygen carrier in the 50 kW_{th} unit at operating temperatures between 780–880 °C.

Comprehensive physicochemical characterization of the used OC was performed which yielded many novel conclusions regarding the reaction mechanism. Cu migration within the particle matrix led to crack formation and internal voids, increasing porosity and progressively reducing mechanical strength, ultimately causing particle fragmentation. Chipping was identified as the dominant attrition mechanism. Although ash elements, particularly Si, accumulated

on the surface, no fluidization issues occurred. Despite the chemical stability of major components, notable changes in solid-phase composition were observed, including the formation of a CuMnFe spinel phase (Cu_{0.5}MnFe_{1.5}O₄), which persisted throughout the campaign as it can be seen in Figure 2. Importantly, the MnFe spinel structure retained its magnetic properties and reactivity, enabling efficient separation and reuse of both particles and fines.

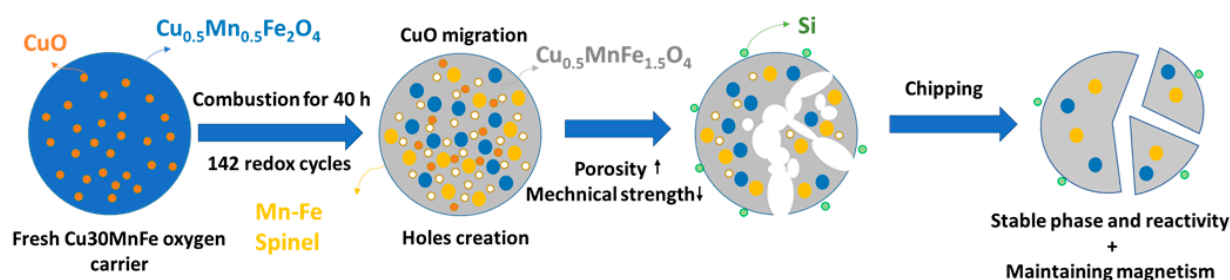


Figure 2. Scheme of the oxygen carrier transformation during CLOU operation.

Conclusion

The CLOU process was successfully demonstrated at TRL 5 for the first time using a 50 kW_{th} unit, with stable operation across biomass and coal fuels. The Cu₃₀MnFe oxygen carrier showed high performance, achieving up to 93% CO₂ capture and low oxygen demand under optimized conditions. Although mechanical degradation due to chipping was observed, the material maintained its chemical stability, reactivity, and magnetic properties, enabling ash separation and reuse. Ash accumulation did not cause operational issues such as agglomeration. The formation of a stable CuMnFe spinel phase indicates a promising pathway for improving the durability of the oxygen carrier. Synthesizing the material to favor the formation of this spinel structure from the outset could be advantageous, as it may enhance mechanical integrity and mitigate chemical stresses during operation.

Related publications

[1] Mendiara, T.; Filsouf, A.; Adánez-Rubio, I.; Izquierdo, M. T.; Abad, A. Performance of Granulated Ti-Doped Manganese Oxide Oxygen Carriers in Chemical Looping Processes. *Applied Sciences*. 2025; 15, 750.

<https://doi.org/10.3390/app15020750>

[2] Costa, T. R.; Filsouf, A.; Adánez-Rubio, I.; Braga, R. M.; Melo, D. M. A.; Adánéz, J. Low-cost copper ore oxygen carrier for Bio-CLOU systems: performance assessment and potential for negative-carbon bioenergy (BECCS). *Biomass and Bioenergy* 2026, 213, 109460.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2026.109460>.

[3] Filsouf, A.; Adánez-Rubio, I.; Mendiara, T.; Abad, A.; Adánez, J. Developing magnetic, durable, agglomeration resistant and reactive copper-based oxygen carrier particles by promoting a kaolin-reinforced, manganese-iron mixed oxide support. *Fuel Processing Technology* 2023, 241, 107616.

<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107616>.

[4] Adánez-Rubio, I.; Filsouf, A.; Durmaz, M.; Mendiara, T.; Gayán, P.; Adánez, J. Performance of a kaolin-doped, magnetic Cu-based oxygen carrier in biomass combustion. *Powder Technology* 2023, 426, Article.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118668>.

[5] Filsouf, A.; Adánez-Rubio, I.; Mendiara, T.; Abad, A.; Adánez, J. Ash Interaction with Two Cu-Based Magnetic Oxygen Carriers during Biomass Combustion by the Chemical Looping with Oxygen Uncoupling Process. *Energy & Fuels* 2024, 38 (20), 19548–19558.

<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c02464>.

[6] Abad, A.; Filsouf, A.; Adánez-Rubio, I.; Mendiara, T.; de Diego, L. F.; Izquierdo, M. T.; Gayán, P.; Adánez, J. Chemical Looping with Oxygen Uncoupling of

Biomass and Coal: Scaling-Up to 50 kW_{th} Using a Copper-Based Oxygen Carrier. *Energy & Fuels* 2024, 38 (21), 21333–21344.

<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c03173>.

[7] Filsouf, A.; Mendiara, T.; Adánez-Rubio, I.; Izquierdo, M. T.; Adánez, J.; Gayán, P.; Abad, A. Physicochemical evolution of a Cu/Mn/Fe oxygen carrier in a 50 kW_{th} chemical looping with oxygen uncoupling unit with solid fuels. *Fuel* 2026, 406, 137162.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2025.137162>.

Full Thesis can be downloaded from:

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/430975/1/Tesis%20Amirhossein%20Filsouf.pdf>

HYCELTEC 2026

X Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries

D. Salinas-Torres, M. Navlani-García

david.salinas@ua.es

Departamento de Química Inorgánica e Instituto de Materiales, Universidad de Alicante, Apartado 99, 03080-Alicante, España

La décima edición del Simposio Internacional sobre Hidrógeno, Pilas de Combustible y Baterías Avanzadas (HYCELTEC 2026, *X Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries*) se celebró en Alicante del 8 al 11 de junio de 2026 (<https://hyceltec2026.com/>). El evento fue organizado por el Instituto de Materiales de la Universidad de Alicante, bajo la dirección de la Profesora Emilia Morallón Núñez (Catedrática de Química Física), como presidenta del comité organizador, y el Profesor Diego Cazorla Amorós (Catedrático de Química Inorgánica) como responsable del programa científico. El simposio Hyceltec nació con el propósito de crear un foro ibérico de referencia dedicado al hidrógeno, las pilas de combustible y las tecnologías electroquímicas de almacenamiento energético. El International Advisory Board (IAB) de Hyceltec constituye el comité científico de carácter internacional (España, Portugal e Italia) encargado de orientar y coordinar la organización del simposio, garantizando su calidad, coherencia y proyección dentro del ámbito de las energías y tecnologías sostenibles. Celebrado con periodicidad bienal, Hyceltec ha rotado entre sedes universitarias y centros de investigación de los países participantes, fortaleciendo la colaboración transnacional y la creación de redes científicas estables. Cada edición ha contribuido a ampliar la comunidad investigadora, incorporar nuevas líneas temáticas y fomentar la participación de jóvenes científicos.

Con el objetivo de estimular debates fructíferos, generar nuevas ideas y tender puentes de colaboración entre especialistas de diversos ámbitos, el simposio se estructuró en sesiones dedicadas a tres grandes ejes temáticos de máxima actualidad:

- (i) Producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno, su integración con fuentes de energía renovables y su impacto socioambiental.
- (ii) Pilas de combustible, desarrollo de componentes y materiales, integración de dispositivos, mecanismos de degradación, y aplicaciones.
- (iii) Baterías avanzadas, baterías líquidas, de sal fundida, de estado sólido y poliméricas, baterías de flujo redox, supercondensadores, dispositivos de almacenamiento de energía electrocrómicos, sostenibilidad y reciclabilidad.

HYCELTEC 2026 contó con la participación de 123 asistentes de 14 países, incluyendo tanto países europeos, como Portugal, Francia, Alemania, Bélgica, Italia, Suecia y Lituania, como transcontinentales como Japón, China y Chile. El programa científico

contó con 50 comunicaciones orales distribuidas en dos sesiones paralelas y 38 presentaciones póster, las cuales fueron expuestas en dos sesiones de hora y media. Además, tuvimos la oportunidad de disfrutar de las charlas plenarias del Profesor Hiromi Yamashita de la Universidad de Osaka (Japón), quien presentó su charla titulada *“Design of Nanostructured Catalysts for Sustainable Energy and Environmental Uses”*, la Doctora Encarnación Raymundo-Piñero, del *Center National De La Recherche Scientifique*, de Francia, quien presentó su charla titulada *“Exploring the electrode/electrolyte interface of carbon-based supercapacitors”*, y el Profesor Manuel A. Rodrigo, de la Universidad de Castilla - La Mancha, quien presentó su charla titulada *“Hybrid Electrochemical Energy Storage: Integrating Saline Electrolysis and CO₂ Capture for Next-Generation Renewable Systems”*. Por otro lado, contamos también con la asistencia de otros profesores e investigadores de reconocido prestigio, tales como Dr. Jiayin Yuan (Universidad de Estocolmo, Suecia), Dra. María Victoria Martínez Huerta (Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC), Dra. Conchi Ania (CNRS, Francia), Dr. Rafael Morales Ospino (Universidad de Lorraine, Francia), Dr. Juan Manuel Ortiz (IMDEA Agua), Dra. Victoria García Rocha (Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono, CSIC), Dr. Federico Tasca (Universidad de Santiago de Chile), Dr. Hirotomo Nishihara (Universidad de Tohoku, Japón), Dr. Ramiro Ruiz Rosas (Universidad de Málaga), Dr. Félix Barreras (Instituto de Carboquímica, CSIC), Dra. Stefania Specchia (Politécnico de Torino, Italia), Dr. Jun-ichi Ozaki (Universidad de Gunma, Japón), Dr. Vincenzo Baglio (CNR-ITAE, Italia), Dra. Daniela Falcao (Universidad de Oporto, Portugal), Dra. Sara Pérez Rodríguez (Instituto de Carboquímica, CSIC), Dr. Quan Hong (Universidad de Tianjin, China) y Dr. Berke Karaman (Universidad de Lieja, Bélgica), quienes presentaron charlas *Keynote* en las diferentes sesiones.

Además de reunir a expertos consolidados, HYCELTEC 2026 destacó por la activa participación de investigadores/as júnior, estudiantes de doctorado y postdoctorales. El excelente trabajo realizado por los/las estudiantes fue reconocido en forma de dos premios a las mejores contribuciones en formato póster (otorgados a Samuel Calabuig Mompó por su trabajo titulado *“Influence of Oxygen Functional Groups on Iron Phthalocyanine–Graphene Interactions for Enhanced ORR Electrocatalysis”*, y a Barbara Belza, por su trabajo titulado *“Protocols for evaluating advanced bio-sourced gel polymer electrolytes (GPEs) for sustainable zinc-air*

battery (ZAB) applications”, patrocinados por las revistas *Catalysts* y *Materials* (ambas de MDPI), respectivamente, y el premio a la mejor comunicación oral otorgado a Lucas Elvira y patrocinado por la revista *Nanomaterials* (MDPI).

Además, en la ceremonia de clausura se presentó la siguiente edición del simposio, HYCELTEC 2028, la cual se celebrará en Oporto (Portugal), los días 19 a 23 de junio de 2028, y estará organizada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto (<https://hyceltec2028.events.chemistry.pt/>)

Por otro lado, pudimos disfrutar también de un programa social muy completo, el cual comenzó con un cóctel de bienvenida celebrado el día 8 de junio en el Museo de la Universidad de Alicante y amenizado

por la actuación del grupo Elsa Grande. El día 9 de junio celebramos un cóctel en el Restaurante Dársena de Alicante y, finalmente, la cena de gala, celebrada el día 10 de junio, en el Hotel Meliá de Alicante. Todos estos eventos sociales favorecieron la interacción y el diálogo de los/las asistentes al congreso en un ambiente más distendido e informal.

Atendiendo al entusiasmo de todos/as los/las asistentes y al alto nivel de las discusiones científicas abordadas, cabe esperar que HYCELTEC 2026 sea recordado como un foro de discusión idóneo y un punto de inflexión para futuras colaboraciones en el ámbito del hidrógeno, las pilas de combustible y las baterías avanzadas.



Fotografía de grupo del HYCELTEC 2026.

Curso:**El Carbono y sus Materiales, Caracterización y Aplicaciones**

Se acercan las fechas de celebración de la tercera edición del curso de formación titulado *El Carbono y sus Materiales, Caracterización y Aplicaciones*, que organizamos desde nuestra asociación. En esta ocasión se celebrará entre el 23 y el 25 de noviembre de 2026, nuevamente en las instalaciones de la Sede Antonio Machado de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA), en la ciudad de Baeza. Además de la monumentalidad de la ciudad donde se aloja, la sede cuenta con una residencia anexa a disposición de los estudiantes y profesores que participen en el curso.

El horario del curso es de 9:00 a 14:00h y de 16:00 a 19:00h el lunes 23 y martes 24, y de 9:00 a 14:00h el miércoles 25 de noviembre. Los ponentes tratarán las siguientes temáticas:

Lunes, 23 de noviembre:

- Materiales clave para la transición energética: innovación, eficiencia y escalabilidad. Ana Arenillas de la Puente – INCAR, CSIC.
- El papel de la captura de CO₂ en la transición energética y la descarbonización. José Ramón Fernández García - INCAR, CSIC.
- Preparación de materiales de carbono. Noelia Alonso Morales - UAM.
- Caracterización de la textura porosa de los materiales de carbono. Agustín F. Pérez Cadenas – UGR

Martes, 24 de noviembre:

- Aplicaciones de los materiales de carbono en almacenamiento de energía. Diego Cazorla Amorós – UA.
- Caracterización superficial de materiales de carbono mediante métodos electroquímicos y aplicaciones en sensores. Emilia Morallón – UA.
- Del carbono a la energía limpia: el papel de la electrocatálisis. Sara Pérez Rodríguez – ICB, CSIC.
- Materias primas secundarias basadas en carbono: obtención, caracterización y aplicaciones industriales. Juan Daniel Martínez. – ICB, CSIC

Miércoles, 25 de noviembre:

- Aplicaciones catalíticas de los materiales de carbono. Juana M^a Rosas – UMA.
- Caracterización de la Química Superficial de Materiales de Carbono - Francisco Carrasco Marín – UGR.
- Mesa redonda: Ramiro Ruiz Rosas – UMA y Agustín F. Pérez Cadenas – UGR.

Para inscribirse en el curso ya se puede acceder al procedimiento on-line de auto matrícula de la UNIA (*). El plazo de matrícula finalizará el 19 de noviembre de 2026.

El coste del curso (expediente y matriculación) es de 158€. El coste de la residencia de la UNIA asciende a 25 €/noche en uso compartido. El Grupo Español del Carbón costeará la residencia a sus socios, pero estos deben igualmente indicar si van a hacer uso de la misma durante el proceso de matrícula y reservar su plaza.

IMPORTANTE: (*) Los socios del GEC tienen que realizar el proceso de matrícula individualmente a través de la web de la UNIA, pero deben consultar previamente, con sus respectivos centros o grupos de investigación, si proceden o no al pago individual de su matrícula. En este sentido, las Instituciones, Grupos o Centros de Investigación que tengan la intención de hacerse cargo de la inscripción de sus socios del GEC, podrán hacerlo mediante la emisión de una transferencia única por el importe total correspondiente a sus miembros; para acogerse a esta modalidad deben ponerse en contacto previamente con los directores del curso, ya que la UNIA solo acepta como norma general el pago de matrícula individual y mediante tarjeta.

Por tanto, los socios del GEC deben abstenerse de realizar su pago de matrícula, individualmente, hasta haberlo acordado con sus supervisores, y en caso de que sea su centro el que va a realizar el pago, no deben realizar la matrícula hasta que su centro comunique a la dirección del curso los nombres de todos los participantes, cuya matrícula, se va a incluir en un pago único mediante transferencia bancaria. El GEC no gestionará ni intercederá ante la UNIA para el reembolso de ningún pago de matrícula individual.

Como en ediciones anteriores organizamos este curso con muchas ganas e ilusión, y deseamos que sea de interés para el público en general, y nuestros socios en particular. A continuación de este curso, la misma tarde del día 25 de noviembre, comenzarán las terceras Jornadas de Jóvenes Investigadores del GEC.



Sede Antonio Machado de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) (Baeza - Jaén)

III Jornadas de Jóvenes Investigadores del Grupo Español del Carbón

El Grupo Español del Carbón (GEC) organiza las **III Jornadas de Jóvenes Investigadores** que se celebrarán en la sede Antonio Machado de la UNIA (Baeza, Jaén) del **25 al 27 de noviembre de 2026**. Creemos en la importancia de impulsar la capacidad innovadora, el pensamiento creativo y la investigación de calidad en las nuevas generaciones de investigadores. Por ello, hemos creado este espacio de encuentro en un entorno singular, concebido para inspirar, compartir experiencias y fomentar la colaboración.



Las jornadas girarán en torno a la presentación de los trabajos de los participantes en formato oral y póster, organizados en torno a topics por sesiones.

Desde la organización os animamos a inscribiros y enviar vuestras contribuciones antes del 9 de octubre a la dirección: **jovenesgec2026@gmail.com** indicando el topic que seleccionéis:

- Materiales de carbono: nanomateriales, materiales compuestos y materiales avanzados (1D,2D,3D).
- Aplicaciones catalíticas, medioambientales y en salud.
- Aplicaciones en almacenamiento de energía.
- Tecnologías de generación sostenible de energía.

Los costes de inscripción incluyen dos comidas, y son los siguientes:

- Socios del GEC: 50 €
- No Socios del GEC: 110 €

Alojamiento (no incluido en la inscripción): Baeza tiene una amplia oferta hotelera. No obstante, la Sede Antonio Machado de la UNIA cuenta con servicio de Residencia Universitaria.

Servicio de Residencia: aquellas personas que deseen hacer uso de la misma deberán solicitarlo con antelación suficiente en la siguiente dirección de correo electrónico residencia.baeza@unia.es

El importe del alojamiento (*) y el ingreso del mismo se consignará siguiendo las instrucciones del Servicio de residencia.

(*) Los socios del GEC deberán indicar su condición de Socio-GEC durante la reserva de la misma (**), y NO abonar el importe. El coste de la residencia de los socios correrá a cargo del GEC.

(**) Los socios del GEC que vayan a hacer uso de la residencia, tanto para este evento como para el Curso del GEC previo, deben de indicarlo en el email inicial que escriban al servicio de residencia con objeto de optimizar la gestión del servicio, así como la ocupación de habitaciones.

Pronto podréis encontrar más información sobre las Jornadas, inscripción y formato de resúmenes en la web del GEC (www.gecarbon.org) y en nuestras redes sociales en LinkedIn, X e Instagram.



https://x.com/III_JJI_GEC_26



<https://www.instagram.com/jornadasgec26?igsh=MWN2YmhzdRnRpZGI1OQ==>



https://www.linkedin.com/in/iii-jornadas-j%C3%B3venes-investigadores-gec-533a88413?utm_source=share_via&utm_content=profile&utm_medium=member_ios

Socios protectores del Grupo Español del carbón



Química del Nalón

