

INDICE

Editorial	1
Entrevista	2
Strength in numbers: the joint potential of carbon nanostructures and nanocellulose for cancer theranostics.....	4
Engineered Carbon-based Nanomaterials for Energy, Biomass Valorization, Photocatalysis & Water Remediation	9
Promoting scientific culture and sustainable development among secondary students.....	17
Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Productos Naturales y Biomasa	24
Desarrollo de envases activos a partir de carbón activado obtenido de residuos de biomasa para alargar la vida útil de frutas y verduras (ENCARBIO).....	28
Valorización de lignina mediante la obtención de catalizadores y productos químicos de interés....	30
Single-step biogas conversion to bio-hydrogen: sorption enhanced catalytic reforming.....	32
II Curso/Seminario del GEC: El carbono y sus materiales, caracterización y aplicaciones	34
II Jornadas de Jóvenes Investigadores del Grupo Español del Carbón	35

Editores Jefe:

Covadonga Pevida García
Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (CSIC)
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
Juana María Rosas Martínez
Universidad de Málaga
Fabián Suárez García
Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (CSIC)

Editorial

Tras dos números del Boletín del Grupo Español del Carbón (GEC) dedicados a recopilar las contribuciones presentadas en la XVI Reunión del Grupo Español del Carbón, celebrada en Gijón del 22 al 25 de octubre de 2023, volvemos al formato clásico con un número cargado de contenido.

Comenzamos con una entrevista a M^a Ángeles Lillo, catedrática de Química Inorgánica y directora del Instituto Universitario de Materiales (IUMA) de la Universidad de Alicante. Hasta hace muy poco, M^a Ángeles ha sido co-editora jefa de este Boletín. ¡Qué gusto nos da entrevistarte!

En este número se incluyen dos artículos científicos: una contribución del Instituto de Carboquímica-CSIC sobre el potencial conjunto de las nanoestructuras de carbono y la nanocelulosa para la medicina teragnóstica contra el cáncer; y otro de la Universidade do Porto (Portugal) sobre el uso de nanomateriales de carbono en energía, valorización de biomasa, fotocatálisis y remediación de agua. Continuamos con un artículo de divulgación de la Universidad de Málaga, que describe cómo se puede aunar el fomento de la cultura científica y el desarrollo sostenible entre el alumnado de educación secundaria mediante actividades relacionadas con la biomasa y la caracterización de sus productos derivados.

En la sección de "Conociendo nuevos grupos" contamos con un artículo del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Productos Naturales y Biomasa (LaPNaBio), de la Universidade Federal do Tocantins - Campus Palmas (Brasil).

Continuamos con una reseña del Proyecto ENCARBIO, de la Universidad de Alicante, sobre el desarrollo de envases activos a partir de carbón activado obtenido de residuos de biomasa para alargar la vida útil de frutas y verduras, y dos reseñas de Tesis Doctorales: Miguel García-Rollán (Universidad de Málaga) y Alma Capa (INCAR-CSIC).

Cerramos este número con dos

anuncios de próximos eventos que organiza el GEC: el Curso "El carbono y sus materiales, caracterización y aplicaciones" del 18 al 20 de noviembre de 2024 al que seguirán las II Jornadas de Jóvenes Investigadores del Grupo Español del Carbón del 20 al 22 de noviembre de 2024. Ambos eventos se celebrarán en la sede Antonio Machado de la Universidad Internacional de Andalucía (Baeza, Jaén).

¡Desde aquí animamos a participar a todos los jóvenes integrantes del GEC en estas actividades!

Covadonga Pevida García
José Luis Pinilla Ibarz

Síguenos en redes:

@GecBulletin 

@GrupoCarbon 

Boletín del Grupo Español
del Carbón 

Entrevistamos a ...

En este número del Boletín tenemos el placer de entrevistar a María Ángeles Lillo Ródenas que ha sido editora jefe de este Boletín hasta el pasado diciembre. M^a Ángeles es Catedrática de Química Inorgánica, y actualmente directora del Instituto Universitario de Materiales (IUMA) de la Universidad de Alicante, donde desarrolla su investigación en el diseño y estudio de materiales carbonosos e inorgánicos avanzados, los campos de la fotocatálisis, la catálisis heterogénea y la adsorción de contaminantes en fase líquida y gas. Asimismo, es Vocal del Grupo Español del Carbón.

M^a Ángeles, queríamos comenzar nuestra entrevista abordando tu labor como editora jefe del Boletín durante los últimos años. ¿Cuáles han sido los principales retos que te has encontrado en esta etapa? ¿Qué logro destacarías de estos años como editora jefe? Nos gustaría, también, que compartieras con la audiencia aquellos aspectos que consideras más relevantes de este Boletín.

En primer lugar, me gustaría dar las gracias al equipo editorial del Boletín por haber pensado en mí para esta entrevista. Me siento especialmente vinculada al Grupo Español del Carbón, y por ende al Boletín, de cuyo equipo editorial he formado parte en dos etapas distintas.

En esta última etapa diría que el principal reto que nosotras, Covadonga Pevida y yo, hemos abordado ha sido potenciar el hecho de que publicar y participar en el Boletín sea interesante y útil para los miembros del GEC. Esto resulta especialmente difícil en un momento en el que el número de editoriales, revistas e invitaciones que los/as investigadores/as recibimos diariamente es muy elevado y considerando que, desde el punto de vista del currículum, el impacto de las revistas es muy importante, lo que puede hacer que un medio como el nuestro no sea tan atractivo.

Pensando en estos retos, y con las miras en conseguir que los miembros del GEC, y especialmente los/as jóvenes, encuentren atractivo nuestro Boletín y lo lean, las entrevistas, los artículos de divulgación o las reseñas de proyectos han permitido que se conozca más a algunos/as de los/as miembros más veteranos/as del GEC, y también que se haya encontrado un hueco al que enviar algunas aportaciones muy interesantes y que no encajan en otros medios escritos. Globalmente, creo que el equipo editorial del Boletín puede sentirse muy orgulloso.

Respecto a los aspectos relevantes del Boletín del GEC, destacaría lo adecuado y rápido que resulta poder compartir información en un "foro" en el que los intereses son comunes y que es leído por muchos/as investigadores/as, no solo españoles/as.

Uno de los problemas a los que nos enfrentamos hoy en día es la abundancia de revistas científicas en todos los ámbitos de conocimiento. ¿Qué le dirías a los jóvenes investigadores/as para animarlos a publicar en el Boletín?

A los/as jóvenes les diría que distintas contribuciones que no tienen cabida en otras revistas científicas, sí la tienen en el Boletín del Grupo Español del Carbón. También me gustaría incidir en que nuestro Boletín es dinámico, que las contribuciones aparecen recogidas en el mismo en poco tiempo, normalmente en el margen de pocos meses, y que muchas veces un mérito, por pequeño que sea, puede marcar la diferencia, sobre todo en el ámbito predoctoral.

Por supuesto también les recordaría la importancia de enviar al Boletín las reseñas de sus tesis doctorales para poder participar en el premio a la mejor tesis, y les indicaría que revisen en la web los premios que recientemente pusimos en funcionamiento, y que han tenido una buena acogida.

Actualmente diriges el IUMA, un instituto universitario de materiales. ¿Cuál es vuestra labor en el contexto de la Universidad de Alicante? ¿Qué líneas de investigación estás desarrollando? ¿De qué fuentes de financiación disponéis?

El Instituto Universitario de Materiales es un centro joven, recientemente ha cumplido 20 años, y nació fruto de la visión integradora de investigadores/as y grupos de la Universidad de Alicante que consideraron y valoraron las aportaciones en el ámbito de la ciencia de materiales de miembros de distintos departamentos. Particularmente, se dieron cuenta de que en la Universidad de Alicante había una interesante cantera de investigadores/a, especializados/as en distintos campos y disciplinas, que bajo un mismo "paraguas" podían desarrollar una labor investigadora complementaria y multidisciplinar. Así, el IUMA está integrado desde su inicio por cinco grupos de investigación. Las líneas de investigación del IUMA son aquellas que desarrollan estos cinco grupos, que son: Física de la Materia Condensada (FMC), Grupo de Electrocatalysis y Electroquímica de Polímeros (GEPE), Laboratorio de Materiales Avanzados (LMA), Materiales Carbonosos y Medio Ambiente (MCMA) y Química Cuántica (QC).

Las líneas de investigación del IUMA han ido cambiando en estos 20 años. Actualmente, y por poner algunos ejemplos concretos, entre las líneas de investigación que se desarrollan en el centro se encuentran distintos procesos químicos y electroquímicos aplicados a medioambiente y energía, que a menudo involucran la síntesis y caracterización de materiales (carbonosos e inorgánicos) con distintas composiciones, conformaciones o morfologías, o la preparación de recubrimientos y rellenos de materiales nanoestructurados; el estudio y la caracterización de las propiedades físicas, químicas, electroquímicas, ópticas, electrónicas o mecánicas de materiales; el uso de materiales como electrodos electrocatalíticos, sensores y biosensores electroquímicos. El almacenamiento de energía, los procesos a alta presión, la revalorización de residuos biomásicos para la obtención de compuestos de alto valor añadido o el diseño, síntesis, caracterización de catalizadores heterogéneos para diferentes

valor añadido o el diseño, síntesis y caracterización de catalizadores heterogéneos para diferentes procesos de interés industrial son otros ejemplos de aplicaciones estudiadas, e involucran procesos de adsorción, catálisis y/o fotocatálisis. El uso de técnicas analíticas para la caracterización de materiales o el desarrollo de nuevas metodologías basadas en la utilización de nanomateriales; el estudio de sistemas de baja dimensionalidad, o la fabricación y uso de láseres; los estudios físicos y químicos teóricos, incluyendo la física teórica y computacional de la materia condensada, simulaciones de dinámica molecular y métodos Monte Carlo. También el estudio de propiedades electrónicas de nanoestructuras moleculares semiconductoras, de los funcionales de energía de correlación y su aplicación a sistemas atómicos, moleculares y nanoestructurados, ó el desarrollo de nuevas expresiones para funcionales de intercambio-correlación (DFT) y su validación en bases de datos y sistemas de referencia.

El IUMA está financiado por la Universidad de Alicante, que lo dotó de una estructura, y unas instalaciones, y sus principales fuentes de financiación son la captación de fondos de proyectos públicos autonómicos, nacionales y europeos, así como los proyectos con empresas de los mismos ámbitos. Fruto del mayor número y montante económico de las convocatorias de los últimos años, los fondos captados por investigadores/as del IUMA han crecido, duplicándose e incluso triplicándose en poco tiempo. No obstante, en investigación hay que tener en cuenta el elevado coste del equipamiento y de otras partidas.

Tus líneas de investigación en materiales están orientadas áreas de medioambiente, energía y biomedicina, un espectro muy amplio que te confiere una visión global. ¿Cuáles consideras que son los principales retos en investigación de materiales aplicados? ¿Cuál es su papel en el balance sostenibilidad-desarrollo tecnológico?

Desde mi punto de vista, en España el principal reto en investigación en materiales aplicados es conseguir una financiación suficiente y estable en el tiempo, así como una mayor interacción con el sector industrial que permitan que la investigación (aplicada) comience siendo una investigación básica, pero que abarque todas las escalas necesarias para que los avances puedan trasladarse a la sociedad.

Opino que el desarrollo tecnológico es el punto de partida para conseguir que la sostenibilidad sea una realidad en los distintos campos. Por supuesto, como ambos están íntimamente ligados, el desarrollo tecnológico no debe basarse únicamente en criterios económicos, sino que debe ejecutarse sin perder de vista los recursos disponibles, y los aspectos medioambientales y de sostenibilidad.

Toda tu carrera científica ha estado estrechamente ligada al desarrollo de materiales de carbono y la búsqueda de aplicaciones. ¿Cuál consideras que ha sido tu mayor logro científico en estos años?

Me resulta difícil contestar a eso. Creo que todos/as intentamos poner nuestro granito de arena y, en conjunto y sumado, eso contribuye al progreso. Sí me resulta más fácil identificar de qué cosas me he sentido o me siento más orgullosa, o cuales me han supuesto una inyección de optimismo en un momento dado. La primera de ellas, en mi etapa inicial, fue que investigadores/as consagrados/as y que me parecían referentes leyeron y citaran alguno de mis trabajos. También la publicación de algunos artículos que han sido bastante citados y/o que considero que han sido útiles, en general. El haber mantenido algunas de las líneas de investigación en las que comencé (preparación y comprensión de los procesos de preparación de materiales carbonosos, caracterización y su aplicación en eliminación/recuperación de compuestos orgánicos), paralelamente haber sumado otras nuevas, relacionadas con fotoquímica para la degradación de contaminantes y/o para la revalorización de residuos vía generación de hidrógeno y otros productos de valor añadido, o con catálisis en el ámbito de la biorefinería, en todos los casos en procesos relacionados con el medioambiente y energía, en fase líquida o gaseosa, o haber desarrollado una parte de mi investigación aplicada a resolver retos industriales concretos planteados por empresa, participando en algunas patentes relacionadas. En relación con esto, recuerdo la ilusión de la concesión del sexenio de transferencia, cuya resolución recibí durante la pandemia.

Unido a todas estas cosas, creo que mi mayor logro es disfrutar de mi trabajo, no solo de la parte investigadora, también de la parte docente, y valorar el privilegio de trabajar, interaccionar y compartirlo con personas de las que he aprendido, incluyendo a mis mentores y a mis compañeros/as, o a las que he contribuido a formar, personas no solo de la Universidad de Alicante, sino también de otros centros y/o de otros países, y que con el trato se han convertido en personas muy cercanas y amigos/as.

Se habla mucho de la falta de vocaciones docentes e investigadoras. ¿Qué consejos le darías a un/a joven graduado/a o ya doctor/a que desea continuar su trayectoria profesional en la Universidad española?

Creo que más que un consejo, lo que les compartiría es una visión. Somos privilegiados/as por dedicarnos profesionalmente a un trabajo que nos gusta y que nos permite estar continuamente aprendiendo, y no creo que eso sea fácil en todos los ámbitos. Teniendo eso en mente, y en un escenario en el que, tanto en España como a nivel internacional, cada vez se reclama más personal formado, yo les diría que disfruten de su trabajo, que lo hagan con mimo, que no tiren la toalla y que, sin lugar a dudas, encontrarán su sitio. En nuestro entorno, no solo los/as jóvenes doctores/as, sino también los/as egresados/as de grado y máster son muy valorados/as, y yo veo una evolución muy positiva en este sentido, en comparación con el escenario de hace unos años.

Strength in numbers: the joint potential of carbon nanostructures and nanocellulose for cancer theranostics

La unión hace la fuerza: el potencial conjunto de las nanoestructuras de carbono y la nanocelulosa para la medicina teragnóstica contra el cáncer

David Berna**, Laura Fuentes**, Jose M. González-Domínguez*

Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC), C/ Miguel Luesma Castán 4. 50018 Zaragoza, España

*Corresponding author: jmgonzalez@icb.csic.es

**These authors contributed equally to this work

Abstract

Traditional cancer treatments encompass chemotherapy, radiotherapy and surgery which lead to terrible collateral damage mainly due to a lack of specificity between the treatment and the affected area. To solve this problem, nanotheranostics involves the use of nanotechnology to obtain both better treatments and diagnosis by improving the tumor screening and the targeting in drug release.

In this context, carbon-based nanomaterials (CBNs), such as fullerenes, graphene quantum dots (GQDs), carbon nanotubes (CNTs), and graphene oxide (GO), are promising nanomaterials due to their unique properties. The functionalization of these materials is expected to be a key process to improve their solubility, stability and biocompatibility for their use in several biomedical applications like biosensing, drug delivery or tissue engineering. Moreover, a novel form of cellulose named ‘nanocellulose’ seems to be a promising tool in cancer therapy as it can be combined with the aforementioned nanomaterials, improving their therapeutic effectiveness against cancer cells.

In summary, carbon-based nanocomposites and nanocellulose offer significant potential to improve cancer treatment through better drug delivery, reduced side effects, and enhanced targeting of cancer cells.

Introduction: cancer and nanotechnology

Nowadays, cancer disease continues being one of the main causes of death in the global population. In this sense, both its diagnosis and treatment stand as crucial topics of study for an early detection and the recuperation of patients. Conventional therapy strategies involve chemotherapy, radiotherapy and surgical interventions leading to severe side effects while sometimes failing in their therapeutic efficacy. Although the tumor can sometimes be removed efficiently from the patient by careful medical practice, the treatment usually results insufficient when the cancer has become metastatic [1].

As a solution, nanotechnology presents a range of appropriate intervention possibilities, from tumor screening to creating targeted drug delivery systems. In addition, nanocomposites are also being used

to target new pathways, stimulate T cells through artificial antigen presentation, or elevate levels of immunostimulatory cytokines to alter the tumor microenvironment [2].

The combination of chemotherapeutic drugs and immune adjuvants in biodegradable nanoparticles has demonstrated significant potential in enhancing antitumor effectiveness and inducing strong antitumor immunity (*Figure 1*).

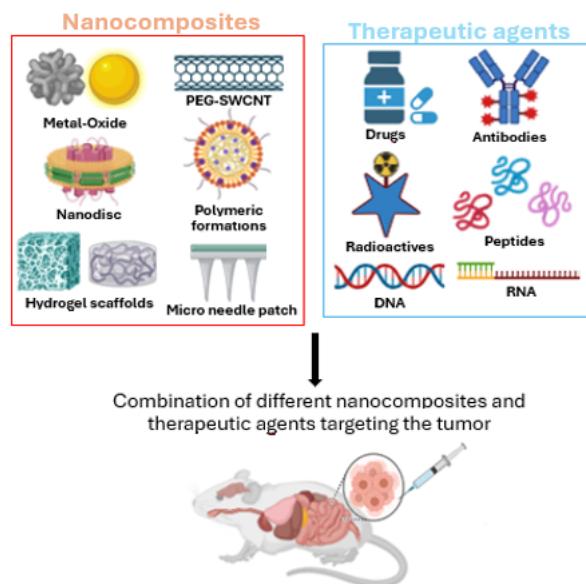


Figure 1. Artificially synthesized nanocomposites can carry a variety of molecules and biomolecules to target the tumor cells. Created with BioRender.com.

In this context, the novel term ‘theranostics’ (therapy + diagnostics) emerges, combining the molecularly targeted diagnostic imaging with the chemo- or radionuclide therapy [3]. Here, nanoparticles play a fundamental role since they can act as biocompatible and biodegradable targeted nanosystems [4] due to the differentiative properties that present over the bulk materials [1]. These have a small size, large surface area, exceptional optical properties, high electrical and thermal conductivities, and superior mechanical properties that make them extremely suitable for biomedical applications [5] such as tissue engineering, biosensing, drug delivery and diagnosis [6].

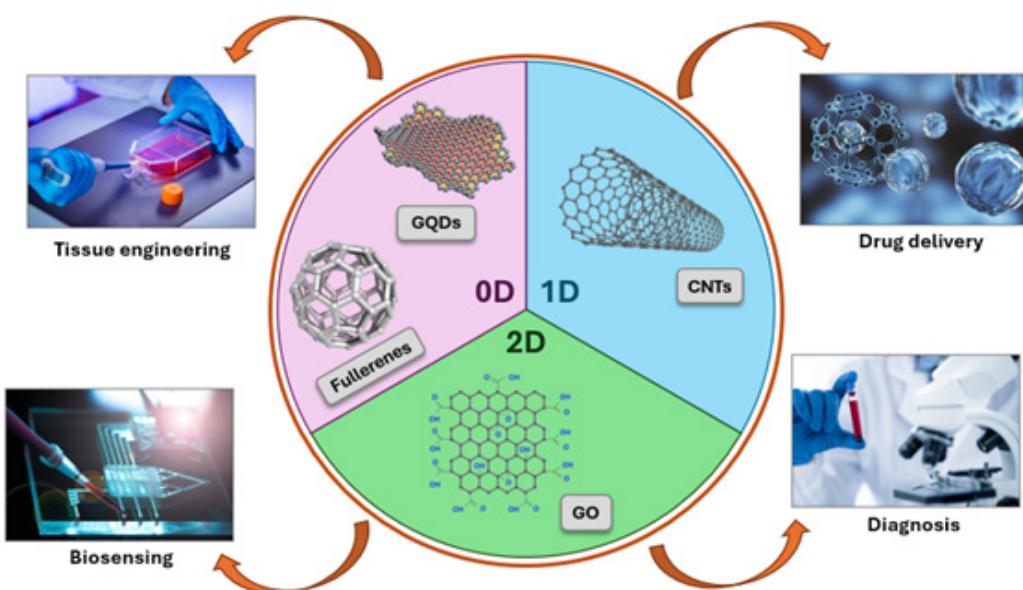


Figure 2. Schematic of the most investigated CBNs in the field of biomedicine and their possible uses in cancer theranostics.

Carbon nanotechnology in the context of cancer theranostics

Specifically, carbon-based nanomaterials (CBNs) have gained interest among the scientific community in the last decades due to their hydrophobic nature that makes them suitable for loading the drug of interest [7–9]. Also, these have been proved to be more biocompatible and safer than metal-based nanomaterials for their use in cancer theranostics [10].

Carbon is one of the most abundant elements and therefore it has diverse allotropes that enable the formation of different types of CBNs with specific characteristics [11]. These can be classified into zero-, one-, two- and three-dimensional graphenic forms. Among them, the most remarkable in the biomedical field (Figure 2) are 0D fullerenes and graphene quantum dots (GQDs), 1D carbon nanotubes (CNTs) and 2D graphene oxide (GO) [11].

Structurally, fullerenes are spherical molecules built up of pentagons and hexagons, with full insolubility in water, but they can be functionalized to change this property [12]. In this sense, biocompatible C₆₀ fullerenes are soluble in water, and they can inactivate free radicals to protect cell membranes from oxidation, so they were used as therapeutic agents for ulcerative colitis [13]. Another 0D CBN are GQDs which present unique fluorescent properties due to their quantum confinement effects, good hydrophilicity, and the possibility to be made up either with semiconductor or insulating behavior [14]. These features, combined with the presence of surface functional groups, enable GQDs to create new chemotherapeutics and radioisotopes that can be used for cancer treatment.

Moreover, 2D GO is made up of a carbon monolayer whose structure is interrupted by a range of oxygen functional groups, providing insulating and reactivity properties to this material [15,16]. In recent times, it has also been considered as an ideal nanomaterial for

cancer therapy due to its distinctive physicochemical features, implicit size- and shape-dependent optical properties, extremely large surface to volume ratio and flexible surface properties [16].

On the other hand, CNTs consist of rolled up graphitic sheets which confers a cylindrical shape, and they can be electronically metallic or semiconducting depending on the arrangement of the hexagonal carbon rings along the tubular surface [11]. These have a great appeal for carrying chemotherapeutic drugs, genes and proteins against cancer as well as being efficient photothermal agents due to their strong near-infrared (NIR) light absorption capability [11].

In 2023, a Portuguese group led by S. Abreu [17], demonstrated through an *ex vivo* study on human colorectal carcinoma cell line (HT-29) that the conjugation of chemotherapy drugs like 5-fluorouracil with functionalized CNTs resulted in a higher effective reduction in tumor growth. This was attributed to an extended half-life and cytotoxicity of the drug, added to a tenfold increase in drug uptake by the tumor due to the conjugated administration, likely through enhanced permeability and retention.

Functionalized CNTs are typically engaged by cells though an active process of endocytosis or they can passively diffuse into cells. The method of cellular internalization is determined by various factors, including the size, shape, surface charge, hydrophobicity of the nanoparticles, and the type of cancer cell [17].

It is important to highlight that the surface of carbon nanomaterials must have a correct balance between hydrophobicity and hydrophilicity to enhance affinity and promote their cellular adsorption, together with ensuring that drugs are correctly adsorbed on their surface. To be introduced into the system, they must exhibit high biocompatibility, cell specificity and an appropriate dimension, in order to overcome the biological, physicochemical, physiological and

mechanical barriers from cell membranes and enzymes. Nevertheless, multidrug resistance (MDR) is the key factor contributing to the unsuccessful outcomes of chemotherapy in many cancers, so other solutions must be sought [18].

Subsequently, various trials have been conducted to address and overcome this resistance that some metastatic tumors and tumor stem cells exhibit towards multiple chemotherapy drugs. The main cause of MDR in colon cancer patients, and in others like leukemia, is the active expulsion of drugs, due to the overexpression of P-glycoprotein (P-gp) in the cancerous tissues. Even though there have been numerous attempts to counteract this, the significant toxicity of these protein inhibitors has posed a substantial challenge in their clinical application [19]. A trial was conducted by the National Chromatographic R&A Center in China [19], where water soluble single-walled carbon nanotubes were functionalized with antibodies against P-gp, in conjunction with the chemotherapeutic drug doxorubicin, leading to higher specific recognition of the multi-drug resistant human leukemia cells (K562), while improving at the same time drug loading, cytotoxicity and controlled pharmacological release.

Underlyingly to these trials there is an open question regarding if these nanomaterials are intrinsically harmful or not. Numerous studies have been conducted on the safety and toxicity of these nanoparticles. A research from 2006 by Sayes and co-workers [20] indicated that chemically functionalized CNTs were less cytotoxic compared to those that were not. Therefore, the functionalization and structure alteration of these CNTs promote their dispersion, potentially reducing their size, and concomitantly modifying their surfaces. In this way, biocompatible groups can be introduced, thereby decreasing their toxicity. However, extremely small sizes can also result in toxicity due to their large surface area. In other words, small nanoparticles possess a high surface area relative to their total mass, which increases the chance to interact with surrounding biomolecules and, as a consequence, to trigger adverse responses.

Thus, the exploitation of CNTs comes with certain obstacles, including their low solubility, the release of potential toxic ions during synthesis, a strong hydrophobic nature leading to clumping and precipitation in water-based solutions, and a heightened viscosity. To address these issues, two potential approaches can be adopted: CNTs can be functionalized, which enhances, as we have described above, their solubility, stability, and functionality, or CNTs can be turned into different nanocomposites such as with gold or cellulose [6].

A new team player: Nanocellulose

Nanocellulose is composed of various nanofibers made of polymerized β -1,4-D (+) glucose units, which are elongated chains of cellulose with a significant length to diameter ratio. Their crystalline segments

contribute to their robust mechanical strength, while the amorphous parts are responsible of their flexibility. The diameter of these nanofibers ranges usually from ten to twenty nanometers, and their length is at least ten times their diameter. This geometric property, coupled to its polymeric nature, makes it highly useful in various application fields [21, 22].

Three types of nanocellulose can be differentiated: microfibrillated cellulose (MFC), bacterial cellulose (BNC), and nanocrystalline cellulose (CNC). Specific bacteria can produce BNC by a bottom-up methodology and this one does not contain any trace of lignin or hemicellulose, which is beneficial as it eliminates the necessity for chemical isolation treatments. Furthermore, it is structured by a wide three-dimensional network of nanofibers with nanoscale diameters. The structure of BNC is built from both intermolecular and intramolecular hydrogen bonds among these nanofibers, enabling the creation of structures with an extensive surface area, open porosity, and strong tensile strength. As a result, and in addition to its excellent permeability and low toxicity, it has found broad applications in wound healing (e. g. treating skin burns) and tissue engineering (such as in the creation of artificial blood vessels) [21].

On the other hand, CNC is produced by subjecting the lignocellulosic biomass to acid hydrolysis (top-down procedure). The process selectively eliminates the amorphous phase and isolates the nanometric crystalline domains within its structure [22]. The resulting CNC has a needle-like or rod-like shape, with diameters ranging from three to ten nanometers, and impressive properties such as high tensile strength, mechanical moduli up to 130-140 GPa, a high surface area and high degree of versatility in surface functionalization. The hydroxyl groups on its surface provide an easy platform for chemical functionalization with amino, carboxyl, aldehyde and thiol groups, throughout grafting or oxidation. These modifications enable the attachment of tiny chemical entities, like fluorophores, metal nanoparticles, biomarkers, or larger protein/polymer macromolecules. It has also been explored for the delivery of suicidal genes and small interfering RNAs to tumors, allowing the silence of specific genes and the induction of apoptosis in cancer cells [23].

Considering the direction and alignment of cellulose chains [24], it can generate six distinct polymorphs. The most prevalent allomorphs are the type I, where the chains are parallel, and the type II, where the chains are antiparallel. Type I CNCs are needle-like crystals measuring 200-300 nm in length and 5-10 nm in width. In contrast, type II CNCs are shorter (50-100 nm) and broader (15-20 nm), exhibiting a more twisted and ribbon-like appearance. These morphological variations impact the final properties of CNCs and their interactions with other entities or materials. An instance of this is the differing rates of enzymatic degradation between types I and II of CNCs [25].

Both nanomaterials (BNC and CNC) have been

termed “generally regarded as safe (GRAS)” by the American Food and Drug Administration (FDA) [26]. This recognition assures a promising future in the development of multifunctional materials, sensors and structures, and it is expected to achieve the same level of success compared to other nanomaterials, with better prospects for sustainability and cost-effectiveness.

To sum up, nanocellulose with its unique properties, holds a great potential for a variety of applications, highlighting its aptitude for modulating and controlling the release of substances and drugs, particularly in targeted cancer therapy. Its adjustable surface chemistry plays a crucial role in controlling the loading and release of active substances in drug delivery systems. Numerous preclinical studies have demonstrated robust evidence of nanocellulose’s character as a distributor of bioactive compounds sensitive to various controlled stimuli, showing significant effectiveness in cancer treatments, with an added focus on targeted therapy and minimized side effects. The hybridization with capecitabine, folate chemical groups, or doxorubicin is commonly found among multifunctional platforms to actively fight against tumor cells [27].

Forefront of nanocellulose for cancer theranostics

A study from Spain’s Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC) employed functionalized single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) as a nanohybrid platform to target cancer, in conjunction with type II CNCs [28]. The functionalized SWCNT/II-CNC hybrids showed greater activity than the benchmark drug capecitabine against the Caco2 colon cancer cell line. Besides, the authors noted that the effect appears to be inherently linked to the SWCNT/II-CNC complex, particularly amplified by fluorescein and folic acid, as the absence of capecitabine yielded similar outcomes. Later research works from Asia have also confirmed this specificity of functionalized CNC for folate receptors and malignant colon cells. In detail, the spindle-like shape, as compared to others sphere-

like nanoparticles, provides a high aspect ratio which causes a lengthened fluid circulation, an improved cellular uptake and binding, a faster internalization, and higher accumulation in the targeted tumors [29]. Eventually, it is important to underscore the function of nanocellulose (Figure 3) not just as a weapon against cancer, but also as a diagnostic tool (which is still greatly needed in developing countries). Given that the processes of carcinogens, cancer invasion and metastasis are still not fully understood, there is an urgent need to devise new strategies for a real-time non-invasive monitoring of cancer onset and progression, as well as swift diagnosis for making timely decisions about specialized treatments. The high surface area and electrical conductivity of CBNs, coupled to the biocompatibility of nanocellulose, create highly sensitive biosensors capable of detecting disease biomarkers at minimum concentrations. A Chinese group [23] recently applied CNCs for therapeutic tumor bioimaging, through acoustic signals or fluorescent agents like fluorescein isothiocyanate from nanoparticles that infiltrate tumors, to examine and visualize the presence and development of cancerous cells. Photoacoustic imaging of mouse cancer models has been already performed using non-conjugated CNCs.

Conclusion

In this review we have highlighted the potential of nanomaterials in targeted drug delivery, immunotherapy, and cancer screening. The use of functionalized carbon nanotubes (CNTs) and nanocellulose in conjunction with chemotherapeutic drugs and immune adjuvants has shown promising results in enhancing antitumor effectiveness, inducing a stronger and more specific response. Thus, CBNs can be used to accumulate in a selective and quick manner in areas of interest while reducing side effects by avoiding undamaged organs [32], being able to overcome multidrug resistance, improve drug loading, cytotoxicity, and controlled pharmacology release. This can be achieved by conjugating them with several targeting ligands that restrictively bind

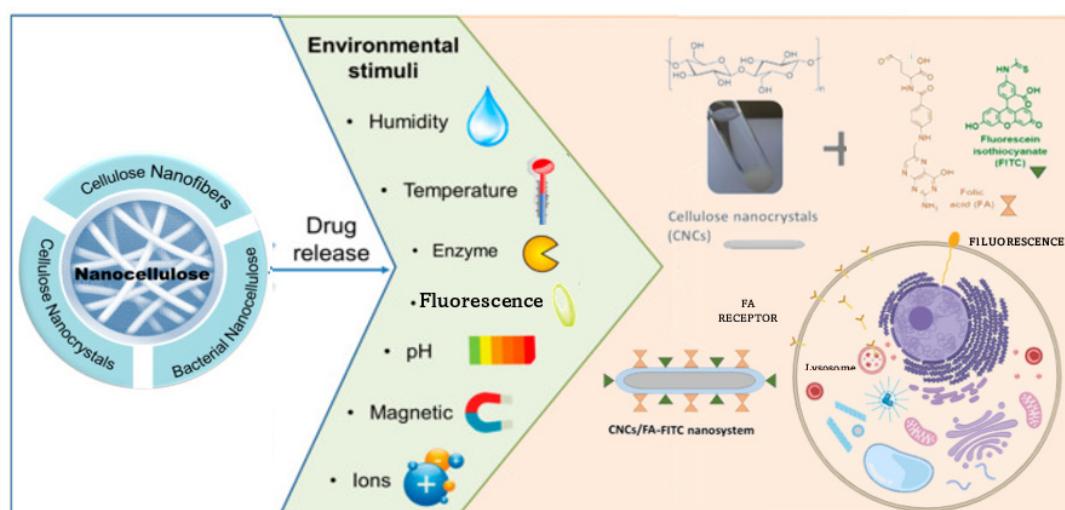


Figure 3. Summary of cellulose nanocrystals potential in cancer diagnosis and treatment. Adapted from references 30 and 31, with full reproduction rights under a creative commons license.

to overexpressed receptors on tumor cells. The used ligands depend both on the CNBs and the tumor model of interest and can be molecules with different nature such as antibodies, lectins or peptides, among others [33].

On the other hand, nanocellulose holds great potential for a variety of applications, with a particular focus on its ability to modulate and control the release of substances and drugs, especially in targeted cancer therapy. Its unique properties make it a promising material for the development of multifunctional materials, with better prospectives for sustainability and cost-effectiveness compared to others.

In summary, the unique properties of nanocellulose and CBNs complement each other, resulting in innovative solutions that are more effective, precise, and adaptable than current technologies. Nanocellulose improves the biocompatibility, reducing the risk of immune responses, ensuring safe interactions with biological systems and a controlled drug release, while CBNs, provide mechanical strength, high surface area, stability and electrical properties, enhancing the overall performance and life expectancy of these composites.

Overall, nanotheranostics can optimize drug delivery systems in different aspects like the biodistribution of the drug as well as it enables a noninvasive pharmacokinetics evaluation, and we can take advantage of this to predict treatment responses promoting personalized medicine [32].

References

- [¹] Saleem J, Wang L, Chen C. Carbon-Based Nanomaterials for Cancer Therapy via Targeting Tumor Microenvironment. Advanced Healthcare Materials. Wiley-VCH Verlag 2018; 7(20).
- [²] Sharma P, Otto M. Multifunctional nanocomposites modulating the tumor microenvironment for enhanced cancer immunotherapy. Vol. 31, Bioactive Materials. KeAi Communications Co.; 2024. p. 440–62.
- [³] Zoi V, Giannakopoulou M, Alexiou GA, Bouziotis P, Thalasselis S, Tzakos AG, et al. Nuclear Medicine and Cancer Theragnostics: Basic Concepts. Diagnostics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) 2023; 13(19):3064.
- [⁴] Jokerst J V, Gambhir SS. Molecular imaging with theranostic nanoparticles. Acc Chem Res. 2011 Oct 18; 44(10):1050–60.
- [⁵] Díez-Pascual AM. Carbon-based nanomaterials. International Journal of Molecular Sciences. MDPI AG. 2021; 22(14):7726.
- [⁶] Simon J, Flahaut E, Golzio M. Overview of carbon nanotubes for biomedical applications. Materials. MDPI AG. 2019, 12(4):624.
- [⁷] Wong BS, Yoong SL, Jagusiak A, Panczyk T, Ho HK, Ang WH, et al. Carbon nanotubes for delivery of small molecule drugs. Adv Drug Deliv Rev. 2013 Dec; 65(15):1964–2015.
- [⁸] Yang K, Feng L, Liu Z. The advancing uses of nano-graphene in drug delivery. Expert Opin Drug Deliv. 2015 Apr 3; 12(4): 601–12.
- [⁹] Cui Q, Yang X, Ebrahimi A, Li J. Fullerene-biomolecule conjugates and their biomedical applications. Int J Nanomedicine. 2013 Dec; 9:77.
- [¹⁰] Gong H, Peng R, Liu Z. Carbon nanotubes for biomedical imaging: The recent advances. Adv Drug Deliv Rev. 2013 Dec; 65(15):1951–63.
- [¹¹] Maiti D, Tong X, Mou X, Yang K. Carbon-Based Nanomaterials for Biomedical Applications: A Recent Study. Frontiers in Pharmacology. Frontiers Media S.A. 2019; 9.
- [¹²] Da Ros T, Prato M. Medicinal chemistry with fullerenes and fullerene derivatives. Chem Commun. 1999; (8):663–9.
- [¹³] Byelinska IV , Kuznetsova HM, Dziubenko NV, Lynchak OV, Rybalchenko TV, Prylutskyy YI, Kyzyma OA, Ivankov O, Rybalchenko VK, Ritter U. Effect of C60 fullerenes on the intensity of colon damage and hematological signs of ulcerative colitis in rats. Mater Sci Eng C. 2018 Dec 1, 93:505–517
- [¹⁴] Tian P, Tang L, Teng KS, Lau SP. Graphene quantum dots from chemistry to applications. Mater Today Chem. 2018 Dec; 10:221–58.
- [¹⁵] Dreyer DR, Todd AD, Bielawski CW. Harnessing the chemistry of graphene oxide. Vol. 43, Chemical Society Reviews. Royal Society of Chemistry; 2014. p. 5288–301.
- [¹⁶] Brisebois, P. P., & Siaj, M. Harvesting graphene oxide – years 1859 to 2019: a review of its structure, synthesis, properties and exfoliation. Journal of Materials Chemistry. C, Materials for Optical and Electronic Devices 2020; 8(5), 1517–1547.
- [¹⁷] Abreu S, Vale N, Soares OSGP. Combination of CNTs with Classical Drugs for Treatment in Human Colorectal Adenocarcinoma (HT-29) Cell Line. Nanomaterials. 2023 Jul 1;13(13).
- [¹⁸] Ashique S, Bhowmick M, Pal R, Khatoon H, Kumar P, Sharma H, et al. Multi drug resistance in Colorectal Cancer- approaches to overcome, advancements and future success. Advances in Cancer Biology - Metastasis. 2024 Jul; 10:100114.
- [¹⁹] Li R, Wu R, Zhao L, Wu M, Yang L, Zou H. P-Glycoprotein Antibody Functionalized Carbon Nanotube Overcomes the Multidrug Resistance of Human Leukemia Cells. ACS Nano. 2010 Mar 23; 4(3):1399–408.
- [²⁰] Sayes CM, Liang F, Hudson JL, Mendez J, Guo W, Beach JM, et al. Functionalization density dependence of single-walled carbon nanotubes cytotoxicity in vitro. Toxicol Lett. 2006 Feb; 161(2):135–42.
- [²¹] Chopra H, Gandhi S, Gautam RK, Kamal MA. Bacterial Nanocellulose based Wound Dressings: Current and Future Prospects. Curr Pharm Des. 2022 Feb; 28(7):570–80.
- [²²] González-Domínguez JM, Ansón-Casaos A, Grasa L, Abenia L, Salvador A, Colom E, et al. Unique Properties and Behavior of Nonmercerized Type-II Cellulose Nanocrystals as Carbon Nanotube Biocompatible Dispersants. Biomacromolecules. 2019 Aug 12; 20(8):3147–60.
- [²³] Lugoloobi I, Maniraho H, Jia L, Namulinda T, Shi X, Zhao Y. Cellulose nanocrystals in cancer diagnostics and treatment. Journal of Controlled Release. 2021 Aug; 336:207–32.

Engineered Carbon-based Nanomaterials for Energy, Biomass Valorization, Photocatalysis & Water Remediation

Diana M. Fernandes*, Andreia F. Peixoto, Clara Pereira, Iwona Kuzniarska-Biernacka, Cristina Freire

REQUIMTE/LAQV, Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

*Corresponding author: diana.fernandes@fc.up.pt

Abstract

Carbon-based structures are the most versatile (nano)materials used in the modern fields of catalysis (e.g. photocatalysis and electrocatalysis), renewable energy (in both generation and storage) and environmental science.

The main achievements of our research group towards the development of hybrid and doped carbon-based (nano)materials for eco-sustainable catalysis, biomass valorization, energy technologies and smart devices were previously reviewed in *Boletín* nº 54 (December 2019).

In the present article, we will provide an update, focusing on our recent works.

1. Introduction

The Associated Laboratory for Green Chemistry REQUIMTE/LAQV is the largest Chemistry Network in Portugal, being recognized as a Research Centre of Excellence. Our research group from the REQUIMTE/LAQV, at the Chemistry and Biochemistry Department of Faculty of Sciences of Porto University (LAQV@FCUP) is integrated in the research group of *Materials for Sustainability and Wellness* (MatSusWell) and has been mainly contributing to the LAQV thematic lines of *Functional Materials and Energy - Clean & Renewable*. The current research activities involve the design and production of advanced multifunctional (nano)materials through sustainable methodologies for the scientific areas: i) Electrochemical Energy Conversion and Storage Technologies, ii) Photo(Electro)Catalysis, iii) Biomass Conversion into Materials, Fuels and Chemicals and iv) Wearable Technologies and Devices.

In the array of engineered (nano)materials developed by our group for the aforementioned applications, carbon (nano)materials hold a crucial role. This is due to their exceptional physicochemical properties and extensive adaptability for doping, functionalization, and combination with other components, such as transition metal complexes, noble and common metals, metal oxides, and polyoxometalates, to produce composites or hybrids.

In this article, the different R&TD activities that are being carried out at LAQV@FCUP in the field of engineered carbon-based (nano)materials for energy, biomass valorization and photocatalysis application are reviewed.

The article starts by reviewing the works developed regarding the fabrication of carbon-based electrocatalysts for energy conversion applications (fuel cells and water splitting) and smart

energy harvesting and storage flexible/wearable technologies. Then, the development of bio-derived carbon materials as catalysts in biorefinery concept for energy, biomass valorization and photocatalysis is described. Finally, the last section is devoted to the development of carbon-based materials for water remediation.

2. Carbon-Based (Nano)composites for Energy Technologies

2.1 Electrochemical Energy Conversion

The ever-increasing global energy demand and the continuous consumption of fossil fuel sources has had a tremendous impact on our planet's ecosystems and biodiversity and has posed serious challenges to energy security, pollution, climate change, and even society and political stability. So, it is imperative to develop cost-effective and environmentally sustainable solutions to meet and address these challenges. In this regard, storage and conversion of renewable energy will be a promising alternative to reduce this crisis. Some of these technologies include fuel cells (FCs), water splitting devices and CO₂ conversion into value-added products.

Within this context, our research work has been focusing on the design and preparation of novel noble metal-free composites, through eco-sustainable protocols, with enhanced electrocatalytic properties for oxygen reduction reaction (ORR) and oxygen evolution reaction (OER) in alkaline medium. Our contribution is mainly focused on the synthesis and physicochemical characterization of electrocatalysts involving carbon materials (doped or non-doped), polyoxometalates (POMs), transition metal oxides (TMO) and metal-organic frameworks (MOFs), as well as on their electrochemical performance. So far, several composites based on POMs and carbon materials (doped or non-doped) have been prepared and successfully applied towards ORR [1-3]. These include the immobilization of Wells-Dawson polyoxometalate P₂W₁₂Mo₆ onto nitrogen-doped multi-walled carbon nanotubes (MWCNT_N8 and MWCNT_N6), sulphur-doped multi-walled carbon nanotubes (MWCNT_S6), and sulphur-doped graphene (GF_S6) where the number (6 and 8) stands for the calcination temperatures (600 and 800 °C, respectively). P₂W₁₂Mo₆@MWCNT_N8 and P₂W₁₂Mo₆@MWCNT_N6 showed particularly encouraging results, with onset potentials close to Pt/C, high diffusion-limiting current densities and low Tafel slopes [3]. Composites based on wheel POM KLi-P₂W₄₈ have also been prepared through its immobilization on four distinct carbon materials,

namely graphene flakes (GF), single-walled carbon nanotubes (SWCNT), multi-walled carbon nanotubes (MWCNT), and N-doped multi-walled carbon nanotubes (N-MWCNT) [1].

Bifunctional electrocatalyst for oxygen reactions (ORR and OER) have also been successfully developed by our group [4, 5]. Three POM@MWCNT_N6 composites based on $[M_4(H_2O)_2(As_2W_{15}O_{56})_2]^{1-}$ with $M_4 = Fe_4, Ni_4$ and Fe_2Ni_2 were successfully prepared by a simple and scalable strategy without the need for linker molecules. The prepared composites showed good, intrinsic electrocatalytic activity toward the ORR. More importantly, $Fe_2Ni_2@MWCNT-N6$ presented a remarkable OER performance, outperforming most of the reported results for other composites based on POMs and carbon materials and reaching an overpotential of 0.36 V vs. RHE (for $j = 10 \text{ mA cm}^{-2}$) and a current density of 135 mA cm^{-2} at $E_p = 1.86 \text{ V}$ vs. RHE. This led to a ΔE of 0.85V vs. RHE ($\Delta E = E_{10}(\text{OER}) - E_{1/2}(\text{ORR})$). Our results highlighted the role of having two different transition metals in the equatorial plane which led to a synergistic effect between the two types of metal resulting in an improvement of the electrochemical performances. At the moment, several combinations of transition metals are being explored to confirm these findings but also to unravel the overall reaction mechanisms [4].

Another set of materials that we have been developing are metal-organic frameworks (MOFs) derived carbons for application as OER electrocatalysts. This work has been done in collaboration with Dr. Luís Cunha-Silva also from MatSusWell group. MOFs have attracted attention due to their very interesting properties such as structural variance, compositional versatility, homogeneous distribution of metal atoms, and ordered porosity. However, these present low reactivity of metal centres due to their saturation with the coordinated linkers, limited diffusion capacities of reactants through MOF and porosity poor electron conductivity which limit their application in electrocatalysis [6]. To overcome these drawbacks, recent works have been focused on the pyrolysis of MOF sacrificial templates to produce derived nanostructured carbon materials. In this regard, our group has reported a facile synthesis of noble-metal

free dual N,S-doped MOF-74-derived nanostructured carbon based materials by a 3-step strategy [7]. This approach consisted of MOF preparation, incorporation of thiourea (heteroatom source), and finally, simultaneous carbonization/doping treatment (Figure 1). One of the major advantages of this work relies of the fact that MOF-74 templates have been synthesized at RT, avoiding hard condition solvothermal processes, and contrary to the more extended pyrolysis treatments, carbonizations were performed under relatively low temperature, 500 °C. Considering their application as electrocatalysts, dual-, mono-, and undoped nanocarbons containing Co, Co/Ni, and Ni species were prepared and systematically tested to assess the influence of doping and metal composition on the OER performance. This work highlighted two synergistic effects, the first when N,S-dual-doped carbon is produced from a monometallic Co-MOF-74 template, N,S-Co@C, and the second when an undoped carbon is derived from bimetallic Co/Ni-MOF-74, Co/Ni@C. These two samples achieve remarkable OER performances with overpotentials as low as 0.41 and 0.44 V vs. RHE, respectively, being close to the state-of-art OER catalyst performance.

Ternary nanocomposites consisting of POMs, metal nanoparticles and a carbon matrix have also been developed by decorating four different MOF-74-derived nanocarbons with the sandwich-type polyoxometalate $[Co_4(H_2O)_2(PW_9O_{34})_2]^{10-}$ [8]. This work demonstrated for the first time the POM “bulk” deposition strategy as a useful tool to prepare highly active OER electrocatalysts and revealed the dramatic effect that the nanocarbon doping and metal composition has on the resultant POM loading, electrocatalytically active area and OER performance.

2.2 Smart Energy Harvesting and Storage Flexible/Wearable Technologies

The fascinating growth of wearable electronics and Internet of Things markets, combined with the global clean energy demand, have prompted the quest for sustainable self-chargeable smart technologies merging energy harvesting and storage functionalities [9, 10]. Thermally-chargeable supercapacitors open

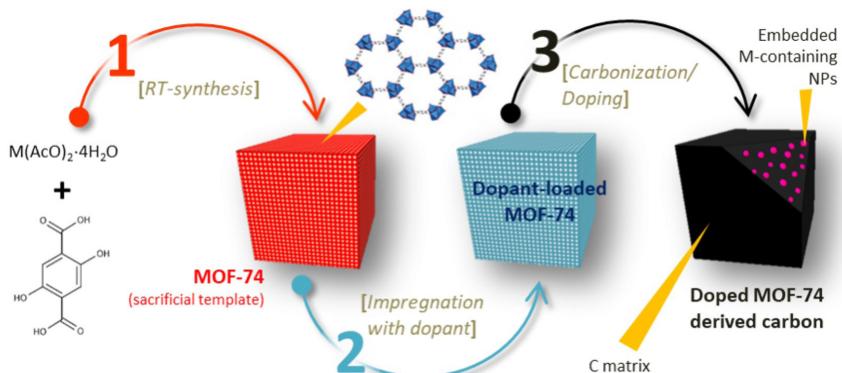


Figure 1. Scheme for the 3-step strategy used to produce electrocatalysts consisting of noble-metal-free doped carbons derived from an MOF-74 template. $M = Co, Ni$, or Co/Ni , and dopant = dicyandiamide, sulphur, or thiourea. Reproduced from ref 7 with the permission of American Chemical Society.

promising prospects as a 2-in-1 power source to feed low energy consumption electronic sensors and illumination systems for a wide array of applications, ranging from healthcare and fashion to defense and transportation. These systems can harness the ubiquitous wasted thermal energy from the human body, environment or industry, convert it into electrical energy, and subsequently store it [10].

LAQV@FCUP has been coordinating an R&TD project in this field since 2022, entitled *BoostEnergy4Tex – All-In-One Energy Harvesting & Storage Smart Textiles: Boosting the New Generation of Safe and Sustainable Self-Powered Wearable Electronics* (PTDC/CTM-TEX/4126/2021), in collaboration with the research unit IFIMUP – Institute of Physics for Advanced Materials, Nanotechnology and Photonics at FCUP, the Technological Centre for the Textile and Clothing Industry of Portugal – CITEVE, and the textile company TINTEX Textiles S.A. [11]. In BoostEnergy4Tex project, innovative multifunctional thermally-chargeable supercapacitor (TCSC) technologies are being developed on textile and plastic substrates using advanced 3D porous hybrid nanostructures combining carbon nanomaterials and metal sulfides as active electrode nanomaterials and non-toxic redox-active polyelectrolytes. Members of LAQV@FCUP and IFIMUP@FCUP have jointly developed a pioneer TCSC technology both on textile and flexible PET substrates through scalable eco-friendly processes and engineered architectures (multilayer and planar) [12-14]. MWCNTs were used as active electrode nanomaterial and polyvinyl alcohol (PVA) doped with orthophosphoric acid was applied as non-toxic solid-gel electrolyte. The sandwich-type all-textile-based TCSC could efficiently harness temperature gradients in the range of 6–25 K, reaching the highest Soret coefficient (S) reported so far for fabric-based TCSCs ($S=1.85 \text{ mV K}^{-1}$), which was $\sim 10\times$ higher than the Seebeck coefficient of thermoelectric materials (e.g., $190 \mu\text{V K}^{-1}$ for Bi_2Te_3) [13]. To test the practical performance of the textile

TCSC device ($6 \times 6 \text{ cm}^2$ active area), it was attached to a hand pulse and the top electrode was heated with a hair dryer at low speed and low heat mode to simulate the outdoor environment under warm temperature conditions (Figure 2A). The practical test demonstrated the potentiality of the device to harness small temperature gradients, opening promising prospects for wearable electronic systems.

Other versatile wearable/flexible supercapacitor technologies are being produced on textiles and plastics using oxidized/heteroatom-doped and hybrid/composite carbon-based electrode nanomaterials assembled with redox-active polyelectrolytes to boost both the energy density and power density outputs, while ensuring long cycle life [15-17]. In particular, multifunctional electrochromic and glow-in-the-dark/fluorescent supercapacitors can be highlighted for real-time monitoring of energy usage and reflective/safety electronic clothing in low visibility environments, respectively (Figures 2B and 2C) [18]. A dual-functional textile supercapacitor featuring energy storage and fluorescence features was produced with a sandwich-type structure using a new redox-active PVA/ H_3PO_4 electrolyte containing Mn(II)-doped ZnS fluorescent pigment and MWCNT-coated textile electrodes [18]. The hybrid supercapacitor demonstrated superior energy storage performance compared to the analogous device with an undoped electrolyte. Specifically, it achieved 20% higher operating potential (1.64 V vs. 1.37 V), 48% higher energy density (1.63 W h kg⁻¹ vs. 1.10 W h kg⁻¹), and 74% higher power density (641.6 W kg⁻¹ vs. 369.2 W kg⁻¹). Moreover, it exhibited exceptional cycling stability (100%) after 8000 charge/discharge cycles. The device displayed a strong yellow-orange fluorescence under UV light irradiation, while maintaining the energy storage capability. Finally, it could feed a thermometer/timer electronic sensor for approximately 12 min after a 10 s charging period, and an LED for 1 min 13 s after being charged for 5 s.

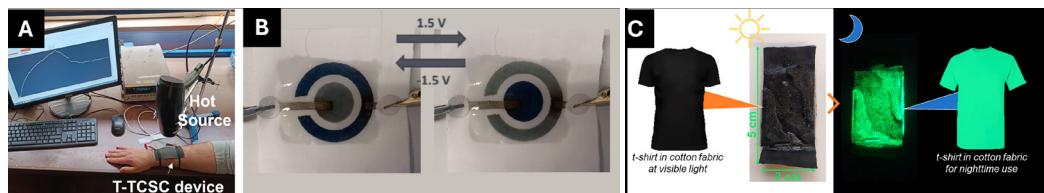


Figure 2. A) Thermally-chargeable textile supercapacitor. B) Electrochromic textile supercapacitor. C) Glow-in-the-dark textile supercapacitor.

3. Bio-derived carbon materials as Catalysts in biorefinery concept for Energy, Biomass Valorization & Photocatalysis

Growing global concerns about climate change, environmental pollution and declining availability of petroleum reserves are increasing the worldwide search for alternative renewable and cost-effective resources that ensure sustainable development. In this context, biomass has emerged as the most promising solution to substitute fossil fuels as it is the most abundant and renewable natural resource.

An increasing research attention in recent years has been focused on lignocellulosic biomass conversion and biorefinery for production of multiple bio-based products to add profit and promotes sustainability to the agricultural industry and rural economy.

Biochar is a carbon-rich solid material formed during thermochemical conversion of lignocellulosic biomass, algae biomass, animal wastes, municipal solid wastes and other organic carbonaceous materials with limited supply of oxygen [21]. By-product streams from biorefineries can be converted

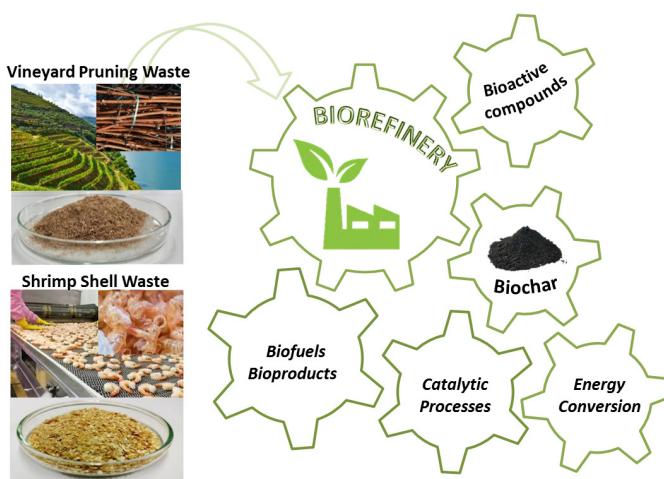


Figure 3. Biorefinery concept from Vineyard pruning waste and Shrimp shell waste [19, 20].

into carbon materials with catalytic applications, thus maximizing the use of resources and reducing waste. The bio-based carbon materials is increasingly recognized for its potential as a catalyst and catalyst support in environmental, catalytic and energy-related applications and they can be integrated into biorefinery processes to increase the overall efficiency of the process. The use of biochar-based catalysts in biomass upgrading is a breakthrough to increase the economy of biorefinery concept approach as previously observed by our group [22], in which valorisation of biochar allows obtaining additional environmental credits, which benefits the system, and is environmentally highly recommended in line with a biorefinery concept. Biochar-based catalysts can be tailored to exhibit specific surface properties and functionalities, making them suitable for applications such as wastewater treatment, soil remediation, and biofuels/bioenergy production. The physicochemical properties can be fine tuning through various activation and functionalization approaches aiming at enhancing the biochar's catalytic or adsorption properties. Heteroatom doping can enhance the catalytic activity and selectivity of biochar-based nanomaterials by creating additional active sites and modifying the electronic structure of the carbon matrix. The engineering of biochar-based nanomaterials by functionalizing of the surface with ligands, metals, metal oxides, the

production of hybrid or composite materials is a very interesting topic due to their wide range of applications, including soil improvement, water purification, carbon sequestration, energy storage, and catalysis [23] offering unique opportunities to address a wide range of challenges in this areas [21]. In the context of *BioreViniry* project (PTDC/BII-BIO/30884/2017), we also used in an integrated valorisation approach (Figure 4) the solid by-product of extraction technologies to produce biochar materials and consequently biochar-based catalysts [23-24]. We reported for the first time a protocol for the preparation of novel $-SO_3H$ functionalized biochar and transition metal N-doped biochar based catalysts from biochar obtained from vineyard pruning waste. The biochar was activated through CO_2 in order to improve the textural properties ($>700\ m^2/g$, BET). Then, the activated biochars were functionalized by: (i) addition of $-SO_3H$ groups by functionalization with H_2SO_4 , $CISO_3H$ and 2-(4-chlorosulfonylphenyl)-ethyltrimethoxysilane (SO_3H -BioC); [25] (ii) incorporation of Ni, Co, Fe and Cu metal phases via incipient wetness impregnation/ball milling (M-N/BioC), (Figure 4) [26].

The SO_3H -BioC derived catalysts were applied in different catalytic reactions including the production of alkyl levulinates, as fuel additives, from 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) and, in Prins-Ritter or Ritter reactions for the synthesis of bioactive

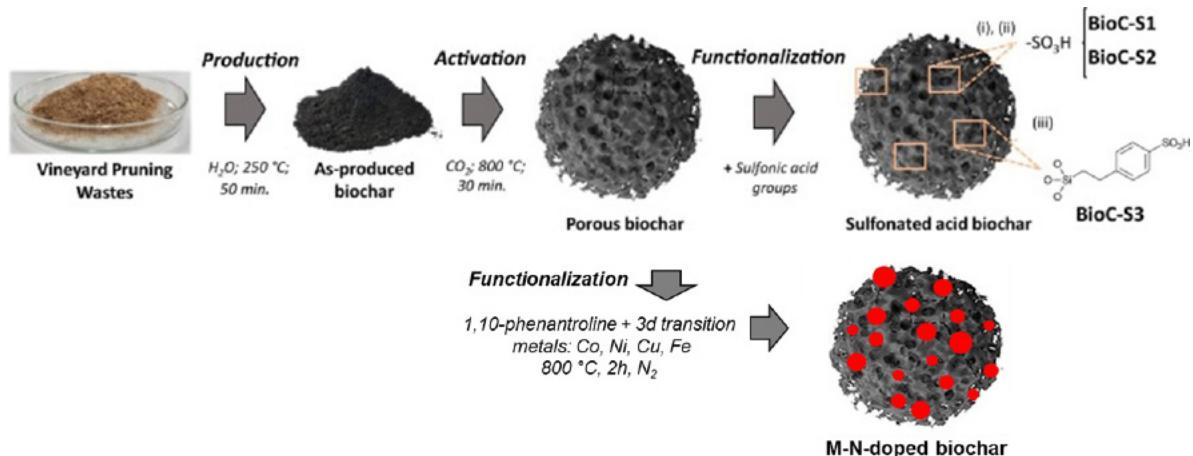


Figure 4. Preparation of novel $-SO_3H$ functionalized biochar and transition metal N-doped biochar based catalysts. Adapted from ref. 23, 24 with the permission of MDPI.

chromenols and other amides (using different alcohols and nitriles and 2-phenylethanol as model substrate) [27, 28]. The observed remarkable activity and selectivity in these catalytic reactions established a promising catalytic route to valorise biomass platform molecules into biopolymers, bioactive compounds and biofuels. The results of catalytic one-pot conversion of HMF to ethyl levulinate (EL), in ethanol, without other co-solvent suggest that the highest acid site density play the paramount role to the rate-limiting ethanolysis step. The maximum yields of EL were obtained at 130–145 °C (84–98 % after 6 h), establishing a facile one-pot process for the production of EL [27].

The versatility of N-doped biochar-supported metal catalysts (M/N-BioC) derived from vineyard pruning waste, to promote circular bioeconomy, was also evaluated in catalytic transfer hydrogenation (CTH) of furfural(FF), and electrocatalytic oxygen reduction and evolution reactions (ORR and OER). The solid biochar was produced by hydrothermal carbonization. The followed nitrogen-doping (using 1,10-phenanthroline) and metal functionalization included the pyrolysis of the treated sample in nitrogen atmosphere and resulted in well dispersed metal particles. The catalytic results suggest that the metal composition and the nitrogen source play vital roles to promote the hydrogenation step of FF towards furfuryl alcohol (FA), achieving the highest conversion (80.0 %) and selectivity (87.6 %) over the Co/N-BioC catalyst, establishing a promising catalytic route to valorise biomass platform molecules using these bio-based catalysts. These M-N-BioC materials have also been used as electrocatalysts in ORR and OER as an example of other alternative and emergent catalytic applications and showed good electrocatalytic activity for both reactions in alkaline medium with Co/NBioC showing the best performance for both reactions. Regarding ORR, it showed a n_{O_2} value close to 4, which indicates a direct process of O_2 to H_2O , an E_{onset} of 0.86 V vs. RHE and a j_i of -3.48 mA cm⁻². It was also remarkably insensitive to methanol crossover (93 % of current retention) which constitutes an advantage for methanol-based fuel cells. As for OER, the Co/NBioC showed an overpotential of 0.48 V vs. RHE and a maximum current density of 42.6 mA cm⁻². The bifunctionality anticipates its use in an unitized regenerative fuel cell that ultimately will offer a competitive advantage over the conventional precious metal catalysts.

More recently, in the context of *Shell4BioA* (EXPL/BII-BIO/0436/2021) [19], shrimp shells have been used as renewable source for biochar production, as they contain high content of heteroatoms (mostly nitrogen, but also a considerable amount of sulfur and phosphorus) which can be retained during the biochar preparation. Since shrimp shells are mainly composed by proteins, calcium carbonate ($CaCO_3$) and chitin, there is a high commercial value for these natural compounds for multiple applications [29]. Moreover, the $CaCO_3$ present in their structure acts as a self-template, contributing to the formation of

pores and enhancing the biochar's surface area. Different M-supported shrimp shells based biochars have been prepared and used in CTH of FF, reductive amination of ketones and ORR and OER electrocatalytic reactions.

Given the need to reduce the consumption of non-renewable resources and global concerns over climate change it is crucial to find ways to make biomass utilization more efficient [30, 31]. In this context, the quest for new advanced technologies using renewable energy resources like solar energy, wind power and hydropower in energy sector has been increasing significantly in recent decades [31, 32]. The platform chemical HMF, usually obtained by oxidation of lignocellulose derived six-carbons sugars can be furtherly oxidized to a variety of useful entities as 2,5-diformylfuran (DFF), 5-formyl-2-furancarboxylicacid (FFCA), 2,5-furandicarboxylicacid (FDCA), among others [33]. Transformation of the hydroxyl of HMF into a corresponding aldehyde group, is of interest in a context of circular economy and recycling because the target product - DFF can be widespread used as monomer of furan-based biopolymers and intermediate of pharmaceuticals, antifungal agents, as well as in photography, analytical chemistry etc [34]. Several approaches for HMF oxidation have been explored. One of them is classic heterogeneous catalysts using organic solvents, and temperature (up to 165 °C). The low DFF yield and selectivity, poor stability of the catalysts, demanding of noble metals, organic solvents, and drastic conditions (high pressure and temperature) make the process ineffective, expensive, and polluting. Even the use of ionic liquids to avoid catalyst deactivation due to adsorption of FDCA and by-products increases the costs and turns the process less sustainable [35]. In our group, magnetic composite photocatalysts based on the assembly of carbonaceous materials and semiconductors stand out as new advanced solar assisted photocatalytic solutions for the efficient and sustainable oxidation of biomass-derived platform molecules. The project *FotoBioTrans – Photocatalytic Transformation of biomass-derived compounds into valuable products*, (EXPL/CTM-CTM/0790/2021) coordinated by LAQV@FCUP was focused on design and production of a new generation of magnetically recyclable, light responsive, high-performance and high-selectivity carbonaceous material/natural biopolymer/semiconductor photocatalysts for the oxidation of biomass-derived platform molecules (HMF) to valuable products (Figure 5). To achieve the goal, multicomponent composites containing: carbon rich fraction of fly ash (sourced from a bituminous coal-fired thermal power plant, located in Abrantes, Portugal), natural polymer and semiconductors NPs (metal oxides) were prepared by cost-effective, environmentally friendly approaches.

The new generation of multi-component composites was applied for the photocatalytic oxidation of HMF. It was found that the substrate conversion and product distribution depend mainly on the type of

semiconductor and the solvent used. TiO_2 and BiOBr -containing catalysts, using water as a solvent, led to non-selective oxidation resulting in HMF degradation. In contrast, the material containing the

MnFe_2O_4 semiconductor facilitated the formation of DFCA. When acetonitrile was used as the solvent, HMF was selectively prototized to DF.

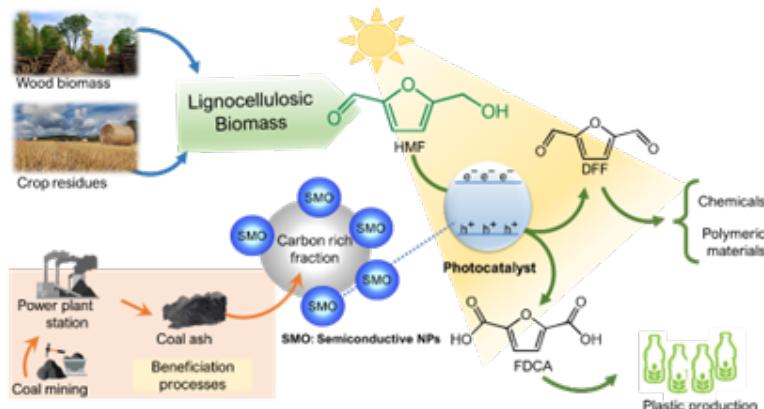


Figure 5. PhotoBioTrans project concept.

4. Carbon based materials for water remediation

The intensification of urbanisation and industrial activities significantly exacerbates the distribution of toxic contaminations into the aqueous environment. Especially synthetic dyes are dangerous organic compounds for the environment as over 10–15 % and 12 % of the dyes are estimated to be lost during dyeing and manufacturing/processing operations respectively. Approximately 20 % of these lost dyes are released into industrial wastewater, causing environmental problems [36, 37]. In our group, different composites or hybrids based on carbonaceous materials have been applied for the PhotoFenton water treatment processes. Several strategies were developed to prepare the materials with semiconductive nanoparticles, NPs (metal oxides or sulphides) with enhanced photo-activities under visible or UV-A light: (i) wet chemical methods; [38, 39] and (ii) in situ immobilization of TiO_2 nanoparticles over AC [40]. The catalytic activity of the novel catalysts S-GF/CuS/ Fe_2O_4 [39] and GF/CuS/ Fe_2O_4 [38] was evaluated in the oxidative degradation of dyes 4-Nitrophenol (4-NPh) and Rhodamine B (RhB) respectively in the presence of H_2O_2 and under UV-A light irradiation (low power lamp 15W). In both cases the tricomponent composites showed enhanced activities in dyes degradation due to the synergistic effect between the components. This effect was markedly clear for the S-GF/CuS/ Fe_2O_4 nanocomposite [39], which showed a 20 % and 32 % increase in the 4-NPh degradation in comparison with S-GF/CuS and S-GF/ Fe_2O_4 respectively, and 41 % and 55 % increase in comparison with the Fe_2O_4 and S-GF, respectively. Moreover, S-GF/CuS/ Fe_2O_4 led to 61% degradation of 4-NPh (Fenton) vs. 95 % (photo-Fenton) process indicated that the radiation has a positive effect on 4-NPh degradation. Similarly, tri-component composite GF/CuS/ Fe_2O_4 was able to complete RhB degradation in water (photoFenton) during 60 min [38]. The rate constant of RhB removal over GF/CuS/ Fe_2O_4 was 2.1, 5.1 and 15.0 times higher than those of GF/CuS, GF/ Fe_2O_4 and pristine Fe_2O_4 , respectively confirmed the synergy between

the components. The GF/CuS/ Fe_2O_4 catalyst could be efficiently reused for at least three cycles.

TiO_2/AC composites were produced by the in-situ immobilization of TiO_2 nanoparticles over activated carbon (AC) derived from spent coffee grains with different ratio $\text{TiO}_2:\text{AC}$. The materials were tested as adsorbents (dark) and photocatalysts in a combined adsorption+photocatalytic process (solar irradiation) for methylene blue (MB) removal from ultrapure water, and from a secondary effluent (SecEf) of an urban wastewater treatment plant [40]. It was shown that the presence of AC in the composites increased the photoactivity of TiO_2 , due to the high surface area of AC effectively concentrated MB around the deposited TiO_2 . The best photocatalytic performance was found for the catalyst with 29 %wt of AC which was able to remove 98.1 % MB during 60 min under simulated solar light irradiation. When the assays were performed using a SecEf as water matrix, all the materials led to a MB discolouration percentage similar to that obtained in the assays with ultrapure water. Moreover, it was shown that the catalyst, besides allowing higher MB removal, also contributed to the overall improvement of the quality of SecEf.

Acknowledgements

This work was financially supported by Portuguese funds through Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT)/MCTES in the framework of the projects PTDC/BII-BIO/30884/2017, DRI-India/0315/2020, PTDC/CTM-TEX/4126/2021 (DOI: 10.54499/PTDC/CTM-TEX/4126/2021), EXPL/BII-BIO/0436/2021 (10.54499/EXPL/BII-BIO/0436/2021), EXPL/CTM-CTM/0790/2021 (DOI: 10.54499/EXPL/CTM-CTM/0790/2021), LA/P/0008/2020 DOI 10.54499/LA/P/0008/2020, UIDP/50006/2020 DOI 10.54499/UIDP/50006/2020 and UIDB/50006/2020 DOI 10.54499/UIDB/50006/2020 and FEDER – European Regional Development Fund through COMPETE 2020 - Operacional Programme for Competitiveness and Internationalization (POCI) through project SAICTPAC/0032/2015. D.M.F,

A.F.P and C.R.P. thank FCT for funding through the Individual Call to Scientific Employment Stimulus, references 2021.00771. CEECIND/CP1662/CT0007 (10.54499/2021.00771.CEECIND/CP1662/CT0007), C.R.P. acknowledges: 2021.04120.CEECIND/CP1662/CT0008 (DOI: 10.54499/2021.04120.CEECIND/CP1662/CT0008) and A.F.P. acknowledges: 2020.01614. CEECIND/CP1596/CT0007 (10.54499/2020.01614.CEECIND/CP1596/CT0007). I.K.-B. thanks for contract funding through program DL 57/2016—Norma transitória REQUIMTE/EEC2018/14.

References

- [1] H. C. Novais, B. Jarrais, A. Haider, U. Kortz, A. Guerrero-Ruiz, I. Rodríguez-Ramos, C. Freire and D. M. Fernandes, *Electrocatalysis*, 2023, 14, 294-305.
- [2] H. C. Novais, B. Jarrais, I. M. Mbomekalle, A. L. Teillout, P. D. Oliveira, C. Freire and D. M. Fernandes, *Inorganics*, 2023, 11, 388.
- [3] H. C. Novais, B. Jarrais, I. M. Mbomekallé, A. L. Teillout, P. de Oliveira, C. Freire and D. M. Fernandes, *ChemElectroChem*, 2024, 11, e202300622.
- [4] I. S. Marques, B. Jarrais, I. M. Mbomekallé, A. L. Teillout, P. de Oliveira, C. Freire and D. M. Fernandes, *Catalysts*, 2022, 12, 357.
- [5] N. Limani, I. S. Marques, B. Jarrais, A. J. S. Fernandes, C. Freire and D. M. Fernandes, *Catalysts*, 2022, 12, 20.
- [6] M. Jahan, Z. L. Liu and K. P. Loh, *Adv. Funct. Mater.*, 2013, 23, 5363-5372.
- [7] V. K. Abdelkader-Fernández, D. M. Fernandes, S. S. Balula, L. Cunha-Silva, M. J. Pérez-Mendoza, F. J. López-Garzón, M. F. Pereira and C. Freire, *ACS Appl. Energ. Mater.*, 2019, 2, 1854-1867.
- [8] V. K. Abdelkader-Fernández, D. M. Fernandes, L. Cunha-Silva, A. J. S. Fernandes and C. Freire, *Electrochim. Acta*, 2021, 389, 138719.
- [9] D. Gao, Z. L. Luo, C. H. Liu and S. S. Fan, *Green Energy Environ.*, 2023, 8, 972-988.
- [10] J. S. Teixeira, R. S. Costa, A. L. Pires, A. M. Pereira and C. Pereira, *Dalton Trans.*, 2021, 50, 9983-10013.
- [11] <https://doi.org/10.54499/PTDC/CTM-TEX/4126/2021>.
- [12] <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2020065533>
- [13] R. S. Costa, A. L. Pires, A. M. Pereira and C. R. Pereira, *J. Power Sources*, 2023, 587, 233712.
- [14] A. L. Pires, R. S. Costa, C. Pereira and A. M. Pereira, *ACS Appl. Electron. Mater.*, 2021, 3, 696-703.
- [15] J. S. Teixeira, R. S. Costa, A. Guedes, A. M. Pereira, C. R. Pereira, *ACS Appl. Eng. Mater.*, 2024, 2, 1170-1189.
- [16] R. S. Costa, O. Soares, R. Vilarinho, J. A. Moreira, M. F. R. Pereira, A. Pereira and C. Pereira, *Carbon Trend.*, 2021, 5, 100137.
- [17] R. S. Costa, A. Guedes, A. M. Pereira and C. Pereira, *J. Mater. Sci.*, 2020, 55, 10121-10141.
- [18] J. S. Teixeira, A. M. Pereira and C. Pereira, *Chem. Eng. J.*, 2021, 426, 131274.
- [19] <https://doi.org/10.54499/EXPL/BII-BIO/0436/2021>.
- [20] DOI: PTDC/BII-BIO/30884/2017.
- [21] R. Ramos, V. K. Abdelkader-Fernandez, R. Matos, A. F. Peixoto and D. M. Fernandes, *Catalysts*, 2022, 12, 207.
- [22] O. Dorosh, E. Surra, M. Eusebio, A. L. Monteiro, J. C. Ribeiro, N. F. M. Branco, M. M. Moreira, A. F. Peixoto, L. Santos and C. Delerue-Matos, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 2023, 11, 8084.
- [23] O. Dorosh, M. M. Moreira, F. Rodrigues, A. F. Peixoto, C. Freire, S. Morais and C. Delerue-Matos, *Molecules*, 2020, 25, 1739.
- [24] O. Dorosh, M. M. Moreira, D. Pinto, A. F. Peixoto, C. Freire, P. Costa, F. Rodrigues and C. Delerue-Matos, *Foods*, 2020, 9, 872.
- [25] A. F. Peixoto, R. Ramos, M. M. Moreira, O. Soares, L. S. Ribeiro, M. F. R. Pereira, C. Delerue-Matos and C. Freire, *Fuel*, 2021, 303, 121227.
- [26] I. S. Marques, B. Jarrais, R. Ramos, V. K. Abdelkader-Fernandez, A. Yaremchenko, C. Freire, D. M. Fernandes and A. F. Peixoto, *Catal. Today*, 2023, 418, 114080.
- [27] J. R. Pereira, M. C. Corvo, A. F. Peixoto, A. Aguiar-Ricardo and M. M. B. Marques, *ChemCatChem*, 2023, 15, e202201318.
- [28] A. Y. Sidorenko, Y. M. Kurban, A. F. Peixoto, N. S. Li-Zhulanov, J. E. Sánchez-Velandia, A. Aho, J. Wärnå, Y. Gu, K. P. Volcho, N. F. Salakhutdinov, D. Y. Murzin and V. E. Agabekov, *Appl. Catal. A-Gen.*, 2023, 649, 118967.
- [29] M. M. Moreira, F. Gonçalves, I. S. Marques, A. F. Peixoto and C. Delerue-Matos, *Biol. Life Sci. Forum*, 2023, 26, 51.
- [30] D. Aboagye, R. Djellabi, F. Medina and S. Contreras, *Angew. Chem.-Int. Edit.*, 2023, 62, 28.
- [31] X. J. Wu, N. C. Luo, S. J. Xie, H. K. Zhang, Q. H. Zhang, F. Wang and Y. Wang, *Chem. Soc. Rev.*, 2020, 49, 6198-6223.
- [32] X. Q. Liu, X. G. Duan, W. Wei, S. B. Wang and B. J. Ni, *Green Chem.*, 2019, 21, 4266-4289.
- [33] D. Y. Zhao, T. Su, Y. T. Wang, R. S. Varma and C. Len, *Mol. Catal.*, 2020, 495, 19.
- [34] H. L. Zhang, Q. Wu, C. Guo, Y. Wu and T. H. Wu, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 2017, 5, 3517-3523.
- [35] M. A. Ayude, L. I. Dournic, M. C. Cassanello and K. D. P. Nigam, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2019, 58, 16077-16095.
- [36] A. Demirbas, *J. Hazard. Mater.*, 2009, 167, 1-9.
- [37] J. O. Ighalo, P. S. Yap, K. O. Iwuozor, C. O. Aniagor, T. Q. Liu, K. Dulta, F. U. Iwuchukwu and S. Rangabhashiyam, *Environ. Res.*, 2022, 212, 21.
- [38] R. Matos, I. Kuzniarska-Biernacka, M. Rocha, J. H. Belo, J. P. Araújo, A. C. Estrada, J. L. Lopes, T. Shah, B. A. Korgel, C. Pereira, T. Trindade and C. Freire, *Catal. Today*, 2023, 418, 114132.
- [39] R. Matos, M. S. Nunes, I. Kuzniarska-Biernacka, M. Rocha, A. Guedes, A. C. Estrada, J. L. Lopes, T. Trindade and C. Freire, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 2021, 2021, 4915-4928.
- [40] F. Dalto, I. Kuzniarska-Biernacka, C. Pereira, E. Mesquita, O. Soares, M. F. R. Pereira, M. J. Rosa, A. S. Mestre, A. P. Carvalho and C. Freire, *Nanomaterials*, 2021, 11, 24.

- [²⁴] Calvo V, Álvarez Sánchez M. Á, Güemes, L, Martínez-Barón C, Baúlde S, Criado A, González-Domínguez JM., Maser W. K, Benito A. M. Preparation of cellulose nanocrystals: Controlling the crystalline type by one-pot acid hydrolysis. *ACS Macro Letters* 2023; 12(2):152–158.
- [²⁵] Chundawat SPS, Bellesia G, Uppugundla N, da Costa Sousa L, Gao D, Cheh AM, et al. Restructuring the crystalline cellulose hydrogen bond network enhances its depolymerization rate. *J Am Chem Soc.* 2011; 133(29):11163–74.
- [²⁶] Khare S, DeLoid GM, Molina RM, Gokulan K, Couvillion SP, Bloodsworth KJ, et al. Effects of ingested nanocellulose on intestinal microbiota and homeostasis in Wistar Han rats. *NanolImpact*. 2020; 18(100216):100216.
- [²⁷] Do TTA, Grijalvo S, Imae T, Garcia-Celma MJ, Rodríguez-Abreu C. A nanocellulose-based platform towards targeted chemo-photodynamic/photothermal cancer therapy. *Carbohydr Polym*. 2021 Oct; 270:118366.
- [²⁸] González-Domínguez JM, Grasa L, Frontiñán-Rubio J, Abás E, Domínguez-Alfaro A, Mesonero JE, et al. Intrinsic and selective activity of functionalized carbon nanotube/nanocellulose platforms against colon cancer cells. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2022 Apr; 212:112363.
- [²⁹] Zhang W, Taheri-Ledari R, Ganjali F, Mirmohammadi SS, Qazi FS, Saeidirad M, et al. Effects of morphology and size of nanoscale drug carriers on cellular uptake and internalization process: a review. *RSC Adv.* 2023; 13(1):80–114.
- [³⁰] Ghilan A, Nicu R, Ciolacu DE, Ciolacu F. Insight into the latest medical applications of nanocellulose. *Materials (Basel)*. 2023; 16(12):4447.
- [³¹] Pinto RJB, Lameirinhas NS, Guedes G, Rodrigues da Silva GH, Oskoei P, Spirk S, et al. Cellulose nanocrystals/chitosan-based nanosystems: Synthesis, characterization, and cellular uptake on breast cancer cells. *Nanomaterials (Basel)*. 2021; 11(8):2057.
- [³²] Lammers T, Aime S, Hennink WE, Storm G, Kiessling F. Theranostic nanomedicine. *Acc Chem Res.* 2011 Oct 18; 44(10):1029–38.
- [³³] Chen F, Ehlerding EB, Cai W. Theranostic nanoparticles. *Journal of Nuclear Medicine*. 2014 Dec 1; 55(12):1919–22.

Promoting scientific culture and sustainable development among secondary students

Fomento de la cultura científica y el desarrollo sostenible entre el alumnado de educación secundaria

M.N. Rivas-Márquez¹, P. Cabrera-Reyes¹, R. Jiménez-Gómez¹, M. C. Recio-Ruiz¹, M. García-Rollán², M. A. Rodríguez-Cano¹, J. Torres-Liñán^{1*}, J. M. Rosas¹

¹Universidad de Málaga, Andalucía Tech., Departamento de Ingeniería Química, Campus de Teatinos s/n, 29010 Málaga, España

²Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Campus Cantoblanco, Madrid E-28049, España

*Autor de correspondencia: javiertorres@uma.es

Resumen

El fomento de la cultura científica en la sociedad mediante actividades de divulgación científica es una labor en auge por los beneficios que produce en la sociedad. Es de especial importancia su implementación en los jóvenes, puesto que serán los encargados de realizar los avances tecnológicos del futuro. En este sentido, las metodologías STEAM, como las propuestas por la *Noche Europea de los Investigadores* o el *Proyecto Educativo ScienceIES* parecen ser adecuadas para promover el interés por las carreras científicas. En este trabajo se profundiza en el conocimiento de conceptos relacionados con la biomasa en el camino hacia el desarrollo sostenible y, para ello, se propone una secuencia de actividades teórico-prácticas para que el alumnado entienda los beneficios de esta frente a las materias primas fósiles. La sesión de La Noche en las Aulas se centró en el uso de carbón activo procedente de biomasa con fines ambientales, mientras que en las diferentes sesiones del *Proyecto Educativo ScienceIES* se detallaron las características de la biomasa, los productos y materiales de interés que de ella podían obtenerse y la caracterización de estos. Previa y posteriormente a las sesiones se pasaron unos cuestionarios donde se comprobó como la secuencia de actividades teórico-prácticas propuestas era efectiva para el aprendizaje de los conceptos relacionados con el desarrollo sostenible.

Palabras clave

Desarrollo sostenible; biomasa; educación secundaria; La Noche Europea de los investigadores; Proyecto Educativo ScienceIES

Keywords

Sustainable development; biomass; secondary school; The European Researchers' Night; Educational Project ScienceIES

1. Introducción

El mundo actual está en continua y rápida evolución. La implantación de la sociedad digital, caracterizada por el fácil acceso a la información [1], está poniendo

de manifiesto la necesidad de cultivar en la sociedad una profunda cultura científica que ayude al ciudadano a reconocer la información veraz y con respaldo científico frente a los bulos y pseudociencias [2]. Es en este contexto, donde cobran importancia los proyectos de divulgación científica, capaces de crear vínculos entre la ciencia y la sociedad. Con la divulgación científica, la ciudadanía se hace consciente de la importancia de la ciencia y la tecnología en su día a día, así como en el avance de la sociedad [3]. Es además de especial importancia el acercamiento de esta cultura científica a los más jóvenes, aumentando su entendimiento del mundo e incluso promoviendo vocaciones científicas [4]. Con este fin, surgen iniciativas de divulgación entre el alumnado de educación secundaria como *La Noche en las Aulas* o el *Proyecto Educativo ScienceIES*.

La Noche en las Aulas es una iniciativa en la que los institutos abren sus puertas para que estudiantes y profesores puedan interactuar con científicos de diversas disciplinas, creando un ambiente de aprendizaje mutuo y de inspiración para el alumnado. Esta propuesta se engloba dentro de La Noche Europea de los Investigadores (*European Researchers' Night*), un proyecto europeo de divulgación científica celebrado anualmente de forma simultánea en diversas ciudades y promovido por la Comisión Europea dentro de las acciones Marie Skłodowska-Curie del programa Horizonte Europa [5]. Durante este evento, a través de una gran variedad de actividades, se busca, no solo dar visibilidad al rol del investigador, sino también, a la importancia que tiene la investigación científica para el bienestar de la ciudadanía.

Por otro lado, el *Proyecto Educativo ScienceIES* se realiza en colaboración con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Con esta iniciativa se pretende fomentar el interés investigador del alumnado y despertar vocaciones científicas desde temprana edad. Este programa invita a estudiantes de los últimos cursos de ESO y Bachillerato de distintos centros educativos a participar en pequeños proyectos de investigación. De esta forma, no solo se enriquece la comprensión teórica, sino que también se fomenta el pensamiento crítico y el interés por la investigación científica [6].

El impacto de estas actividades no solo recae en el aprendizaje académico, sino también en la adquisición y desarrollo de competencias claves, labor ampliamente recomendada por la Unión Europea. Además, ambas iniciativas siguen la metodología STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas, por sus siglas en inglés), centrada en el desarrollo de habilidades interpersonales tales como el pensamiento crítico, el trabajo en equipo y la comunicación, entre otras [7].

La obtención de productos químicos y materiales en el contexto de la economía circular es uno de los ejes prioritarios de acción de la Organización de las Naciones Unidas, como se refleja en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7: energía asequible y no contaminante y 13: acción por el clima de su Agenda 2030 para el desarrollo sostenible [8]. Dentro de estas acciones se encuentra la búsqueda de alternativas que sustituyan a los recursos fósiles, usando para ello la biomasa, preferiblemente residual. Es en este campo donde se enmarcan las líneas de investigación del grupo TERMA (Tecnología de Residuos y del Medio Ambiente, TEP-184) que, a partir de diversos tipos de residuos lignocelulósicos como la cáscara de almendra, el hueso de aceituna, el tallo de cáñamo o la lignina, estudia la obtención de materiales carbonosos con una amplia variedad de morfologías (polvo, fibras electrohiladas o monolitos). Estos materiales carbonosos, además, presentan una serie de ventajas, tales como una elevada área superficial y una buena estabilidad química y térmica, convirtiéndolos en unos materiales muy versátiles con numerosas aplicaciones [9-12].

Por tanto, con el fin de contribuir a la consecución de los ODS a través del empleo de la biomasa residual, se han diseñado dos actividades enmarcadas dentro del concepto STEAM, capaces de adentrar al alumnado en el mundo de la valorización de biomasa residual, con fines energéticos, medioambientales o catalíticos.

2. Objetivos

El objetivo general de estas iniciativas es dar a conocer entre el alumnado la importancia del uso de la biomasa residual para la obtención de productos de alto valor añadido, en especial el carbón activo, y su implicación en el camino hacia la sostenibilidad global: ODS y economía circular. Esta tarea general se desarrollará a través de los siguientes objetivos específicos:

- Trasmitir la importancia de la investigación en temas sobre la sostenibilidad medio ambiental.
- Acercar la experimentación científica al alumnado como método para el avance tecnológico.
- Enseñar al alumnado las diferentes tipologías de biomasa, los tratamientos aplicados y la caracterización de los materiales obtenidos.

3. Metodología

3.1. Actividades propuestas

- *La Noche en las Aulas*

Esta actividad consistía en la realización de una única sesión de actividades teórico-prácticas en el centro educativo donde el alumnado cursa sus estudios con una duración de aproximada de 2 horas y en relación con el trabajo que estos investigadores realizan. En concreto, el personal investigador acudió a dos institutos Malagueños (IES El Palo e IES Isaac Albéniz), realizando dichas sesiones con alumnos de la modalidad de Ciencias y Tecnología de 4º de ESO y de 2º de Bachillerato.

- *Proyecto Educativo ScienceIES*

Esta actividad consistía en la realización de tres sesiones de unas 5 horas de duración en el laboratorio donde el personal investigador del grupo TERMA realiza su trabajo diario. Además, se incluyó una sesión de clausura, también de unas 5 horas, a fin de que todo el alumnado participante en el proyecto compartiese con el resto el aprendizaje obtenido. Las sesiones enmarcadas en el proyecto Impulsando el desarrollo sostenible mediante el uso de la biomasa se repartieron de la siguiente forma:

- Primera sesión: presentación del alumnado y del personal investigador, junto con una introducción práctica a la definición de biomasa y la determinación de sus propiedades más importantes.
- Segunda sesión: explicación teórico-práctica por parte del personal investigador de los procesos termoquímicos a los que puede someterse la biomasa, de los productos derivados de estos tratamientos y de los procesos comunes para obtener materiales de alto valor añadido.
- Tercera sesión: familiarización del alumnado con algunas técnicas de caracterización para el análisis de los productos y materiales obtenidos en la sesión anterior, como el cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS), el cromatógrafo de líquidos de alta eficacia (HPLC), microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM).
- Jornada de clausura: asistencia al evento de clausura en la Universidad de Málaga, con un formato que simulaba a un congreso científico y con la asistencia de más de 700 estudiantes de educación secundaria de la provincia. En el congreso el alumnado debía realizar una presentación en formato oral apoyándose en un póster preparado por ellos, donde exponían los conocimientos adquiridos en las sesiones anteriores.

3.2. Análisis de resultados

Para la evaluación del grado de aprendizaje del estudiantado participante en sendos proyectos, se llevaron a cabo cuestionarios con preguntas de escala numérica (1-10) tanto al inicio (pre-test) como tras la finalización de la secuencia de actividades (post-test). Este último cuestionario recogía el grado de satisfacción del alumnado respecto a las actividades propuestas en forma de impresiones, opiniones y sugerencias.

4. Desarrollo de las actividades

4.1. Noche en las Aulas

Estas sesiones comenzaron con la realización del test preliminar por parte del alumnado. Seguidamente se llevó a cabo una introducción de los fundamentos teóricos de las distintas rutas de aprovechamiento de la biomasa, así como de los métodos de preparación, propiedades y aplicaciones de los diferentes materiales que de ella derivan. A continuación, el personal investigador procedió a explicar la temática de sus líneas de investigación y la relación de estas con la información previamente expuesta. Durante este primer bloque teórico se formularon preguntas al alumnado con el objetivo de esclarecer, en tiempo real, su grado de conocimiento previo y qué conceptos habían sido capaces de adquirir.

En el segundo bloque, llevado a cabo en los laboratorios de los centros educativos, se realizó una demostración experimental del proceso de adsorción en continuo en una columna rellena de carbón activado (y la posterior regeneración del mismo), Imagen 1. La práctica fue realizada por algunos miembros del alumnado que se ofrecieron a participar en ella. Las sesiones finalizaron con la realización del post-test.



Imagen 1. Fotografías tomadas durante las sesiones de *La Noche en las Aulas*.

4.2. Proyecto Educativo ScienceIES

- Primera sesión

Esta sesión inicial comenzó con una pequeña dinámica de grupo donde el alumnado, además de presentarse con su nombre e instituto de procedencia, debía elaborar una frase con dos palabras, que se le habían asignado al azar, relacionadas con el ámbito de la investigación en desarrollo sostenible. A continuación, el personal investigador introdujo el proyecto focalizándose en una pregunta que debían responder en la sesión de clausura: “¿Cómo contribuye la biomasa a las ODS?”. Así, se presentaron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), haciendo hincapié sobre todo en la relación de estos con la investigación que se realizaba en los laboratorios. Además, se explicó una de las principales líneas de investigación del personal investigador: uso de biomasa residual para obtener productos de alto valor añadido y materiales (adsorbentes, soportes catalíticos o catalizadores carbonosos porosos). En este contexto también se introdujo el término biorrefinería como posible alternativa a las actuales refinerías tradicionales. Más concretamente se usó la industria papelera como referente para demostrar las posibilidades de la biomasa residual, centrándose en el uso actual de la lignina para su valoración energética y las diferentes alternativas que se proponen.

En una segunda parte de la sesión, se plantearon tres actividades experimentales en torno a la lignina y la industria del papel:

1. Extracción de lignina: se simuló el proceso de separación de la celulosa y lignina presentes en la biomasa. Sin embargo, para hacerlo más simple, rápido y seguro, en lugar de biomasa se empleó una mezcla de celulosa y lignina, simulando una biomasa. De esta forma la extracción se llevó a cabo añadiendo acetona, que disolvió la lignina, pero no la celulosa, pudiéndose separar mediante filtración.
2. Análisis de solubilidades: se seleccionaron tres ligninas diferentes y se les propuso que cuantificaran la solubilidad que estas presentaban en acetona, etanol y agua. Se comprobó que una era soluble solo en disolventes orgánicos, otra solamente en agua y una última lignina era insoluble en ambos disolventes. En base a eso se explicó que las ligninas, dependiendo del proceso de extracción empleado presentan diferentes características que las hacen solubles en diferentes medios.
3. Determinación de lignina en agua: se hizo una valoración con $KMnO_4$ de dos muestras de agua en ausencia y presencia de 50 ppm de lignina. La mezcla del $KMnO_4$ con la lignina provocó que toda el agua se oscureciese, mientras que la muestra sin lignina permaneció con un tono rosado por la presencia de $KMnO_4$. Esto puso de manifiesto la necesidad de gestionar la

lignina de forma adecuada como subproducto en la industria papelera, puesto que puede ser un importante contaminante con una alta demanda de oxígeno en los medios acuáticos.

Una vez concluidas estas experiencias se hizo un pequeño repaso de todas ellas, contando esta vez con la participación del alumnado.

• Segunda sesión

Para comenzar la sesión, el alumnado recibió una charla introductoria sobre el aprovechamiento de la biomasa donde se expusieron los principales procesos termoquímicos a los que pueden someterse las diferentes éstas: combustión, gasificación y pirólisis; así como el tipo de materiales de interés industrial y compuestos de alto valor añadido, que pueden de cada uno de estos procesos.

Tras la charla introductoria, el grupo se subdividió en dos grupos para realizar dos actividades diferentes:

1. Proceso de pirólisis: se inició llevando a cabo una demostración del proceso de pirólisis rápida de una de las biomassas disponibles en el laboratorio. Durante toda la experiencia, se expuso la problemática principal del proceso en cada una de sus etapas, resaltando los posibles productos que podían extraerse del mismo. A continuación, el alumnado realizó de forma práctica la secuencia de etapas que se requieren para llevar a cabo una pirólisis catalizada con el fin de obtener carbón activado: impregnación de un residuo biomásico con un agente activante, tratamiento a 60 °C, carbonización a temperatura elevada en flujo de nitrógeno y lavado hasta retirar el fósforo no unido químicamente.

2. Proceso de electrohilado: se elaboraron fibras de lignina a través de la técnica del electrohilado. Para ello, uno de los investigadores encargados del proyecto expuso los fundamentos teóricos de la técnica. Tras ello, los alumnos prepararon una disolución polimérica y el investigador seleccionó las condiciones de operación más adecuadas para proceder a su hilado. Se concluyó con la exposición del investigador sobre las operaciones posteriores necesarias para obtener fibras de carbono a partir de la lignina.

• Tercera sesión

La sesión inició con el diseño, entre el personal investigador y el estudiantado, del póster que debían exponer en la jornada de clausura, planteando una estructura clara sobre los objetivos, desarrollo de las sesiones y conclusiones, similar a la empleada en los posters científicos.

En la segunda parte de la sesión, los alumnos se dirigieron a las instalaciones de los “Servicios Centrales de Apoyo a la Investigación (SCAI)” de la Universidad de Málaga. Durante esta etapa,

el personal técnico responsable del servicio de microscopía electrónica (SEM y TEM) se hizo cargo de realizar una breve introducción a sendas técnicas y una demostración de su funcionamiento con las muestras que prepararon en la sesión anterior, y como se puede relacionar su morfología y las estructuras observadas con la tipología de compuesto y su método de síntesis.

Como parte final de la sesión, los alumnos se dirigieron al laboratorio de investigación donde se les mostraron algunos de los equipos de análisis más empleados, como el HPLC o el GC-MS. Se les enseñó como analizar una muestra con ambos equipos y qué datos se obtienen, así como la información tan útil que se puede extraer de ellos.

• Jornada de clausura

Una vez concluidas las tres sesiones, hacia el final del curso escolar, el alumnado asistió a un evento de clausura en un formato similar al de un congreso científico. En esta jornada, los estudiantes realizaron una presentación oral de unos 5 minutos, apoyados en una presentación de diapositivas en la que resumieron las actividades desarrolladas durante las sesiones, detallaron su contribución al proyecto y expusieron sus conclusiones principales. Tras la exposición, tanto personal docente como el resto del estudiantado formuló preguntas y comentó sus principales inquietudes. Por otro lado, el evento también contaba con una sesión de posters, como el mostrado en la imagen 3, donde el alumnado exponía el póster confeccionado y debatía con los alumnos de otros centros sobre los hallazgos que habían obtenido.



Imagen 2. Fotografías tomadas durante las tres primeras sesiones del Proyecto Educativo ScienceIES.



Imagen 2. Fotografías tomadas durante las tres primeras sesiones del Proyecto Educativo ScienceIES.

IMPULSANDO LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE MEDIANTE EL USO DE LA BIOMASA

ALUMNOS:
• INVESTIGADORES: María Nerea Rivero Vázquez, Paula Cabrera Rojas, María del Carmen Recio Ruiz, Miguel García Robles, Hugo Ángel Rodríguez Gómez, Javier Torres Llave, Francisco José Górriz Núñez, Alvaro José Velasco Román, Renato Ruiz Recio, Juan María Recio Martínez.

TUTOR DE EL PROYECTO: María Carmen Martín Piqueré

Residuos Reciclados
• Plásticos
• Vidrio
• Papel

Residuos No Reciclados
• Plásticos
• Vidrio
• Papel

Biomasa
• Terciaria
• Secundaria
• Primaria

CD₀
• Recuperación
• Uso

INTRODUCCIÓN

¿Qué es la biomasa?

Solubilidad de la lignina

Pruebas de solubilidad con diferentes tipos de lignina

LIGNOSILICATO

OLIGOMOSOLV

KRAFT

OBJETIVO

¿Cómo puede la BIOMASA contribuir a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)?

PRIMERA SESIÓN UN INICIO SOSTENIBLE

¿Qué es la biomasa?

Solubilidad de la lignina

Pruebas de solubilidad con diferentes tipos de lignina

SEGUNDA SESIÓN CONTRIBUIMOS AL CAMBIO

¿Cómo contribuimos?

1. Los hornillos mediante esteraciones muestran de aprendizaje sobre preparaciones para el desarrollo de hornillo en hornillo que pulsan en nuestro hornero fuerte de actividad.
2. También, se puede aprender mediante la observación de hornillo en carbono.

TERCERA SESIÓN ANALIZAMOS LOS RESULTADOS

Análisis de los resultados mediante diferentes tipos de microscopio

Fibras de lignina

Cáñamo

CONCLUSIÓN

La biomasa es una aliada clave para conseguir los ODS. Concretamente al objetivo 3, ya que es un combustible prácticamente neutro en emisiones de CO₂ y al objetivo 7, porque es una fuente de calor universal, renovable y eficiente.

ODS

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al proyecto Science-IES y en particular a los investigadores por su trabajo y dedicación, sin ellos este proyecto no hubiera sido posible.

Science-IES

IMPULSANDO EL DESARROLLO SOSTENIBLE MEDIANTE EL USO DE LA BIOMASA

Science-IES

Imagen 3. Póster confeccionado por el alumnado y fotografías tomadas durante la jornada de clausura del Proyecto Educativo ScienceIES.

4. Evaluación del impacto de las actividades

4.1. Evaluación y valoración del estudiantado

El posible impacto de las actividades fue evaluado mediante los test realizados antes y después de las sesiones, con el objetivo de extraer conclusiones sobre el interés del alumnado en este tipo de actividades.

El análisis de los resultados de ambos test mostró que antes de la actividad el 50 % del alumnado alegaba no conocer ningún uso del carbón activado, mientras que después, la gran mayoría conocía, al menos, una o dos aplicaciones de este material (Fig. 1a). En referencia a la procedencia del carbón activado (Fig. 1b), antes de la secuencia de actividades, la mayoría no conocía la posibilidad de que estos

materiales se obtuvieran tanto de biomasa como de los combustibles fósiles, señalando únicamente uno de esos orígenes. Tras las actividades, casi el 80 % del alumnado decía conocer que ambos materiales de partida podían usarse para preparar carbón activado. En cuanto al conocimiento de los procesos termoquímicos (Fig. 1c) se observó un aumento de un 50 % en el número de alumnos que reconocía saber cuáles eran estos procesos y/o cuales eran sus características tras la implementación de la secuencia de actividades. No obstante, el porcentaje de alumnos que admitían conocer los procesos termoquímicos y todas sus características tras la aplicación de la secuencia didáctica era inferior al 50 %, mostrando un margen de mejora para futuras actividades.

21

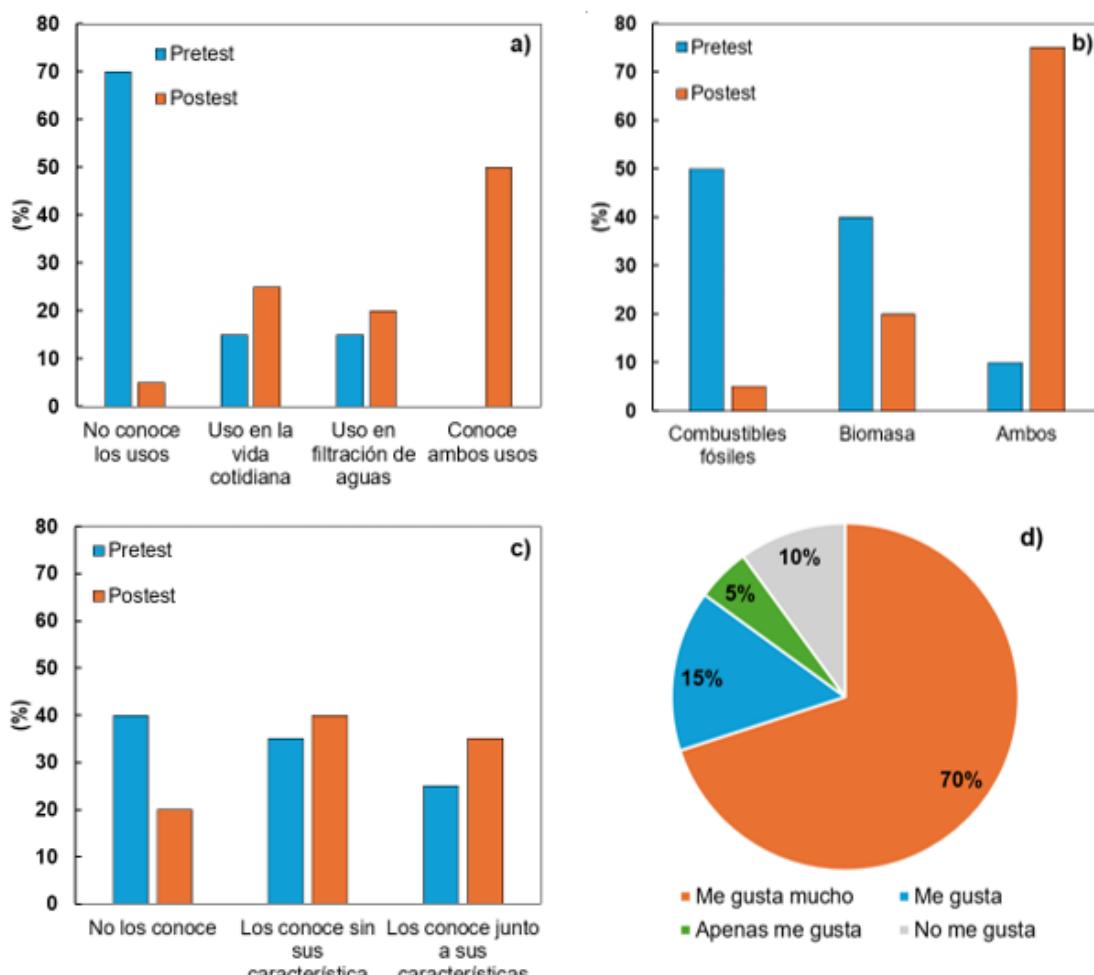


Figura 1. Resultados de las encuestas preliminar y posterior a las secuencias de actividades sobre los conocimientos en referencia al a) uso del carbón activo, b) la procedencia del carbón, c) los procesos termoquímicos aplicados a la biomasa y d) la impresión global de la actividad.

Por otra parte, respecto a la impresión de la secuencia de actividades y la satisfacción del alumnado con la metodología empleada, más del 70 % del alumnado mostró un alto grado de satisfacción con la actividad, con tan sólo un 5 % del alumnado indicando su desagrado (Fig. 1d). Entre las impresiones algunos alumnos incluso alegaban que estos conocimientos adquiridos les será útil para su futuro profesional.

4.2 Valoración de los docentes

Durante la realización de las actividades, el personal científico estuvo en contacto con profesores de educación secundaria a cargo del alumnado. Tras la implementación de la secuencia de actividades se consultó al claustro sobre sus impresiones, mostrando un alto grado de satisfacción acerca del interés mostrado por los alumnos y su implicación en las diferentes actividades propuestas. Se mostraron, además, muy propensos a la realización de este tipo de iniciativas y valoraron muy positivamente el conocimiento adquirido por su alumnado.

5. Conclusiones

La secuencia de actividades propuesta por el personal investigador para los proyectos de divulgación científica La Noche en las Aulas y Proyecto Educativo ScienceLES han mostrado ser herramientas eficaces

para la adquisición de conocimiento relacionado con los usos de la biomasa en el camino hacia la sostenibilidad global por parte del alumnado de secundaria. A su vez, les ha permitido desarrollar competencias como el pensamiento crítico, el trabajo en equipo o las habilidades de comunicación, muy necesarias para su formación como ciudadanos del siglo XXI. Además, la valoración del interés tanto por parte del alumnado, como del profesorado de secundaria han sido muy positivas, poniendo de manifiesto la capacidad de estas sesiones teórico-prácticas de motivar a los estudiantes.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad de Málaga por la concesión del proyecto de innovación educativa PIE22-153 y al personal del SCAI por su entrega y disposición a que los alumnos visitaran su centro de trabajo.

Bibliografía

- [1] Murillo-Zamorano, L.R., López Sánchez, J.Á., Godoy-Caballero, A.L., Bueno Muñoz, C. Gamification and active learning in higher education: is it possible to match digital society, academia and students' interests? International Journal of Educational Technology in Higher Education 18, 15 (2021).

[2] Mugaloglu, Ebru Z. The problem of pseudoscience in science education and implications of constructivist pedagogy. *Science and Education* 23, 829-842 (2014).

[3] Olmedo Estrada, J.C. Educación y divulgación de la Ciencia: tendiendo puentes hacia la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8, 137-148 (2011).

[4] Diego-Mantecón, J., Blanco, T., Ortiz-Laso, Z., Lavicsa Linz, Z. Proyectos STEAM con formato KIKS para el desarrollo de competencias claves. *Comunicar* 66, 33-43 (2021).

[5] "Acciones Marie Skłodowska-Curie (MSCA)". Available in: <https://www.horizonteeuropa.es/msca> (Mayo 2024).

[6] Miri, B., David, B.C., Uri, Z. Purposely Teaching for the Promotion of Higher-order Thinking Skills: A Case of Critical Thinking. *Research in Science Education* 37, 353-369 (2007).

[7] Caeiro Rodriguez, M., Manso Vázquez, M., Fernández, A., Llamas Nistal, M. Teaching Soft Skills in Engineering Education: An European Perspective. *IEEE Access* 9, 29222-29242 (2021).

[8] "Sustainable Development Goals". Available in <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> (October 2022).

[9] García-Mateos, F.J., Berenguer, R., Valero-Romero, M.J., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Phosphorus functionalization for the rapid preparation of highly nanoporous submicron-diameter carbon fibers by electrospinning of lignin solutions. *Journal of Materials Chemistry A* 6, 1219–1233 (2018).

[10] Rosas, J.M., Bedia, J., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Preparation of hemp-derived activated carbon monoliths. Adsorption of water vapor. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 47, 1288-1296 (2008).

[11] García-Mateos, F.J., Ruiz-Rosas, R., Marqués, M.D., Cotoruelo, L.M., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Removal of paracetamol on biomass-derived activated carbon: Modeling the fixed bed breakthrough curves using batch adsorption experiments. *Chemical Engineering Journal* 279, 18-30 (2015).

[12] García-Rollán, M., Rivas-Márquez, M.N., Bertran-Llorens, S., Deuss, P.J., Ruiz-Rosas, R., Rosas, J.M., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Biobased Vanillin Production by Oxidative Depolymerization of Kraft Lignin on a Nitrogen- and Phosphorus-Functionalized Activated Carbon Catalyst. *Energy and Fuels* 38, 7018-7032 (2024).

Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Productos Naturales y Biomasa - LaPNaBio

Universidade Federal do Tocantins - Campus Palmas

La Universidad Federal de Tocantins (UFT) fue establecida el 23 de octubre de 2000 a partir de la transferencia de los cursos y la infraestructura de la Universidad de Tocantins (Unitins), mantenida por el Estado de Tocantins. Aunque fue creada en el año 2000, la UFT no tuvo su implementación efectiva hasta mayo de 2003, con la toma de posesión de los primeros profesores de la Institución. El 18 de abril de 2001, se nombró la primera Comisión Especial de Implementación de la UFT. Después de disolverse la primera comisión designada con el propósito de implementar la UFT, en 2002 se firmó el Decreto nº 4.279, de 21 de junio de 2002, otorgando a la Universidad de Brasilia (UnB) competencias para tomar las medidas necesarias para la implementación de la UFT. En julio de ese mismo año se firmó el Acuerdo de Cooperación nº 01/2002 entre la Unión, el Estado de Tocantins, la Unitins y la UFT, con la intervención de la Universidad de Brasilia, con el objetivo de facilitar la implementación definitiva de la UFT. Con la posesión de los profesores, se inició el proceso para realizar la primera elección de los directores de Campus de la Universidad. Finalizados los trabajos de la comisión dirigida por la UnB, se designó una nueva comisión de implementación. Esta comisión elaboró y organizó los borradores del Estatuto y del Reglamento General de la UFT, y el proceso de transferencia de los cursos de la Universidad del Estado de Tocantins (Unitins), que fueron sometidos al Ministerio de Educación y al Consejo Nacional de Educación (CNE). Se crearon las comisiones de Grado, de Investigación y Posgrado, de Extensión, Cultura y Asuntos Comunitarios y de Administración y Finanzas. La comisión también preparó y coordinó la realización de la primera consulta académica para rector y vicerrector de la UFT, que tuvo lugar en agosto de 2003. En marzo de 2004 fue homologado el Estatuto de la Fundación, aprobado por el Consejo Nacional de Educación (CNE), lo que hizo posible la creación e instalación de los Órganos Colegiados Superiores: el Consejo Universitario (Consuni) y el Consejo de Enseñanza, Investigación y Extensión (Consepe). La UFT fue la primera universidad federal del estado de Tocantins, el estado más nuevo de Brasil, creada con el objetivo de llevar conocimiento, formación y desarrollo no solo al estado, sino a toda una región tan necesitada de desarrollo. La UFT tiene campus en todas las regiones del estado de Tocantins, ofreciendo cursos de grado, maestría y doctorado en todas las áreas del conocimiento. La UFT fue la primera universidad brasileña en establecer cuotas para estudiantes indígenas en sus procesos de selección (primer examen de ingreso de la Institución, realizado en 2004). La universidad pasó de tener alrededor de 8 mil estudiantes y 25 cursos de grado, en 2003, a más de 20 mil estudiantes, en 57 cursos de grado y 30

programas de posgrado en sus primeros 13 años de existencia. El 15 de mayo de 2023, la UFT cumplió 20 años de implementación. Son dos décadas de logros, progresos y muchos sueños realizados.

El Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Productos Naturales en Biomasa (LaPNaBio) fue creado oficialmente en el año 2022. Anteriormente, las investigaciones se realizaban en el Laboratorio de Química (LabQuim) del Campus de Palmas, que apoyaba las actividades de enseñanza e investigación del área de química del campus. Despues de esta fecha, debido al creciente número de alumnos, la enseñanza y la investigación fueron separadas para que pudiéramos aumentar el número de alumnos e investigaciones de posgrado. El LaPNaBio está vinculado al curso de grado en Ingeniería Ambiental, al Programa de Posgrado en Ciencias del Ambiente (PPGCIAMB) y al Programa de Posgrado en Biodiversidad y Biotecnología (PPGBIONORTE). El curso de Ingeniería Ambiental de la UFT es el más antiguo del país, con ingreso de alumnos desde 1992, cuando aún era Unitins. El máster en Ciencias del Ambiente fue el primer curso de máster ofrecido en el estado de Tocantins, aprobado por Capes en 2002. Hoy también ofrece el Doctorado en Ciencias del Ambiente, con calificación 5 en el concepto CAPES. El PPGCIAMB es un programa interdisciplinario y ofrece plazas en dos líneas distintas: 1) Biodiversidad y Recursos Naturales y 2) Naturaleza, Cultura y Sociedad. El PPGBIONORTE es un programa en asociación, que engloba los 7 estados de la Amazonía legal, contando con la participación de 43 instituciones diferentes. El PPGBIONORTE posee un doctorado con calificación 5 en el concepto CAPES. El PPGBIONORTE está compuesto por dos áreas de concentración (Biodiversidad y Conservación y Biotecnología) y tres líneas de investigación: 1) Conocimiento de la Biodiversidad; 2) Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad; y 3) Bioprospección y Desarrollo de Bioprocesos y Bioproductos.

En este sentido, el LaPNaBio fue creado para dar apoyo y desarrollo a las investigaciones desarrolladas por profesores de los programas mencionados además de otros muchos programas existentes en la UFT, instituciones e investigadores asociados. Está coordinado por la Profa. Dra. Elisandra Scapin, Doctora en Ciencias (área de concentración – Química) Profesora Asociada de la UFT, vinculada al Curso de Grado en Ingeniería Ambiental y Profesora de los cursos de Máster y Doctorado en Ciencias del Ambiente y Doctorado BIONORTE.

El LaPNaBio concentra dos líneas de investigación diferentes, ambas con enfoque en estudios que involucran plantas medicinales y biomasa residual de la Amazonia Legal.

Línea 1: Utilización de biomasa residual en la producción de bioproductos y biocompuestos

El grupo de investigación liderado por la Profesora Dra. Elisandra Scapin se centra en el uso de biomasa residual, un tema que ganó relevancia tras sus estudios iniciales sobre líquidos iónicos en procesos de síntesis durante su doctorado en la Universidad Federal de Santa María en 2015. Con el tiempo, sus investigaciones se ampliaron para incluir la síntesis de hidroximetilfurfural y furfural, explorando la aplicación de líquidos iónicos en este contexto. El creciente interés en utilizar biomasa residual en biorefinerías para producir una variedad de biocompuestos, biomateriales y bioquímicos motivó la expansión de la línea de investigación. El equipo percibió la oportunidad de emplear biomasa regional en la producción de estos bioproductos, en respuesta a la necesidad de enfoques más regionales y al imperativo de reutilizar y reciclar las abundantes biomasa residual local. Esta nueva dirección también responde a la falta de estudios sobre estas biomassas. Esta línea contempla el estudio con biomassas de la Amazonía Legal o con producción significativa, específicamente, con el objetivo principal de agregar valor a lo que se produce en la región, en comunidades quilombolas, indígenas, ribereñas y extractivas, entre otras. Se estudian diferentes tipos de residuos como cáscaras de frutas, huesos, semillas, entre otras partes que se desechan como residuos de procesamiento alimentario o agroindustrial. La escasez de investigación y conocimiento previo sobre las mismas evidenció la necesidad de un examen más profundo, que ahora es uno de los enfoques principales del grupo de investigación. Consecuentemente, las investigaciones actuales del grupo están enfocadas en la optimización de los procesos para mejorar la eficiencia de los pretratamientos y las hidrólisis, apuntando a la síntesis de compuestos valiosos como compuestos furánicos, ácido levulínico y xilitol, además de la posibilidad de producción de biocarbón y bio-aceite. Para ello, se están explorando varias técnicas avanzadas, incluyendo el uso de ultrasonido, microondas, líquidos iónicos, Deep eutectic solvent (DES), catalizadores, entre otros. Esta aproximación multifacética busca no solo mejorar los rendimientos, sino también aumentar la sostenibilidad de los procesos involucrados. Otra línea de investigación que surgió de la posibilidad de utilizar biomasa residual son los estudios realizados sobre la producción y aplicación de biocarbonos, como por ejemplo, en el tratamiento de aguas y efluentes. Entre algunas de las plantas ya estudiadas en esta línea están la *Dipteryx alata*, *Caryocar brasiliense*, *Passiflora edulis*, *Theobroma grandiflorum*, *Oryza sativa L.*, *Euterpe oleracea* [1-14]. De esta manera, se reduce el volumen de residuos a ser desechados y se valoriza.

Línea 2: Bioprospección de Productos Naturales

El estado de Tocantins se encuentra en una zona de interfaz entre los biomas del Cerrado y de la

Amazonía, reconocida como Amazonía Legal. Esta ubicación geográfica confiere a la región una biodiversidad excepcional, aún subinvestigada. En respuesta a la necesidad urgente de entender las propiedades de las plantas medicinales utilizadas por las comunidades locales y de explorar de manera científica esta riqueza biológica, surge la línea de investigación en Bioprospección de Productos Naturales. Reconocemos que el avance científico y la ampliación del conocimiento sobre la biodiversidad desempeñan roles cruciales en la conservación ambiental, en la preservación de la cultura de los pueblos que habitan esta área - cuya selva es su fuente primordial de medicamentos - y en la creación de nuevos bioproductos de alto valor económico. Este enfoque no sólo promueve el desarrollo regional, sino que también contribuye al progreso sostenible de toda la región norte. Esta línea de investigación se centra en el estudio de las plantas medicinales encontradas en la Amazonía Legal, investigando diversas partes de las plantas recolectadas, como hojas, flores, tallos, cortezas y semillas. Los trabajos involucran la optimización de la extracción de metabolitos secundarios utilizando diferentes metodologías, caracterización química de los extractos y aceites, estudios de actividad biológica (potencial antioxidante, actividad antimicrobiana, actividad anticolinesterásica, antiinflamatoria), toxicidad y producción de bioproductos, como biocosméticos (cremas, geles, champús, protector solar, entre otros). Entre algunas de las plantas ya estudiadas en esta línea están la *Virola sebifera*, *Dipteryx alata*, *Caryocar coriaceum*, *Couroupita guianensis*, *Cariniana rubra* Gardner, *Parkia platycephala* Benth., *Hancornia speciosa* [15-31].

El LaPNaBio está formado por un grupo de jóvenes profesores e investigadores, comprometidos con el desarrollo de la investigación científica y de la región norte de Brasil, en especial de Tocantins y de la Amazonía Legal. Forman parte del equipo del LaPNaBio:

- Elisandra Scapin - coordinadora y investigadora
<http://lattes.cnpq.br/9765872633375212>
scapin@uft.du.br
elisandrascapin2015@gmail.com
- Juliana Cristina Holzbach – investigadora
<http://lattes.cnpq.br/5567741438058366>
- Magale Karine Diel Rambo – investigadora
<http://lattes.cnpq.br/8793967773394967>
- Marcio Trevisan – investigador
<http://lattes.cnpq.br/0084487180330059>
- Rachel de Moura Nunes Fernandes – investigadora
<http://lattes.cnpq.br/6956591153201335>

Además de alumnos de doctorado, maestría, investigación científica y investigadores de otras Universidades e Institutos Brasileños.

Referencias

- [¹¹] SANTOS, J. R.; RAMBO, M. K. D.; SCAPIN, E. Recent advances in xylitol production in biorefineries from lignocellulosic biomass: a review study. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* (Online)., v.59, p.e1814 -, 2024.
- [¹²] SANTOS, J. R.; VIANA, G. C. C.; BARBOSA, R. S.; BORGES, M. DE S.; RAMBO, M. K.D.; BERTUOL, D. A.; SCAPIN, E. Effect of different pretreatments of *Passiflora edulis* peel biomass on the conversion process into bioproducts for biorefineries. *Sustainable Chemistry For The Environment*., v.2, p.100013 -, 2023.
- [¹³] VIANA, G. C. C.; ROCHA, E. M. R.; AMORIM, C. C.; CAHINO, A.; LEITE, I. R. D.; RODRIGUES, D. A.; ARDISSON, J. D.; SCAPIN, E. Solar photocatalysis using post-consumer alkaline batteries for degrading contaminants of emerging concern in surface water. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*. v.11, p.111226 -, 2023.
- [¹⁴] MARASCA, N.; BRITO, M. R.; RAMBO, M. C. D.; PEDRAZZI, C.; SCAPIN, E.; RAMBO, M. K. D. Analysis of the potential of cupuaçu husks (*Theobroma grandiflorum*) as raw material for the synthesis of bioproducts and energy generation. *Ciência E Tecnologia De Alimentos* (ONLINE)., v.42, p.1 - 9, 2022.
- [¹⁵] ROMÃO, D.; SANTANA JR., C.; BRITO, M.; SCAPIN, E.; PEDROZA, M.; RAMBO, M.; RAMBO, M. Assessment of the Economic and Energetic Potential of Residues from the Green Coconut Industry. *Journal Of The Brazilian Chemical Society*., v.33, p.938 - 947, 2022.
- [¹⁶] BORGES, M.S.; SANTOS, J. R.; RAMBO, M. K. D.; SILVA, D. X.; MARASCA, N.; RAMBO, M. C. D.; SCAPIN, E. Evaluation of *passiflora edulis* flavicarpa and *dioscorea* spp. peelings as potential raw material for biorefineries. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*., v.12, p.504 - 514, 2022.
- [¹⁷] MARASCA, N.; CARDOSO, I.; RAMBO, M.; BERTUOL, D.; RAMBO, M.; GUARDA, E.; SCAPIN, E. Ultrasound Assisted Pretreatments Applied to Cupuaçu Husk (*Theobroma grandiflorum*) from Brazilian Legal Amazon for Biorefinery Concept. *Journal Of The Brazilian Chemical Society*., v.33, p.906 - 915, 2022.
- [¹⁸] SOUSA, A.; SCAPIN, E. Avaliação De Diferentes Parâmetros Reacionais Na Síntese De Compostos Furânicos A Partir Da Casca De Arroz Utilizando O Líquido Iônico [BMIM][Cl]. *Desafios: Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins*., v.7, p.305 - 317, 2021.
- [¹⁹] BORGES, M.S.; BARBOSA, R. S.; RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; SCAPIN, E. Evaluation of residual biomass produced in Cerrado Tocantinense as potential raw biomass for biorefinery Biomass Conversion and Biorefinery. *Biomass Conversion and Biorefinery*., v.1, p.1 - 12, 2020.
- [²⁰] SCAPIN, E.; RAMBO, M. K. D.; VIANA, G. C. C.; Borges, M.S.; RAMBO, M. C. D.; CARNEIRO, C. Production of Furanic Compounds and Organic Acids from Brazilian Pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) Residues Using Green Chemistry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*., v.31, p.1383 - 1391, 2020.
- [²¹] RAMBO, M.; RAMBO, M.; MELO, P.; DE OLIVEIRA, N.; NEMET, Y.; SCAPIN, E.; VIANA, G.; BERTUOL, D. Sustainability of Biorefinery Processes Based on Baru Biomass Waste. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v.31, p.273 - 279, 2020.
- [²²] SCAPIN, E.; RAMBO, M. K. D.; VIANA, G. C. C.; MARASCA, N.; LACERDA, G. E.; RAMBO, M. C. D.; FERNANDES, R. de M. N. Sustainable production of furfural and 5-hidroximetilfurfural from rice husks and soybean peel by using ionic liquid. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* (ONLINE). v.40, p.83 - 87, 2020.
- [²³] BRITO, M. R.; SANTANA JUNIOR, C. C.; RAMBO, M. K. D.; SCAPIN, E.; PEDROZA, M. M.; RAMBO, M. C. D.; BARBOSA, L. N. Utilization of pequi Residual Biomass from the Brazilian cerrado for obtaining raw and activated biochars and bio-oil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*., v.7, p.251 - 259, 2020.
- [²⁴] SCAPIN, E.; VIANA, G. C. C. Synthesis Of 5-Hydroxymethylfurfural Using Ionic Liquid [BMIM][Br] From Residual Soybean and Rice Biomasses. *Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*., v.5, p.125 - 132, 2018.
- [²⁵] SCAPIN, E.; SARRI, D. R. A.; AUGUSCO, M. A. C.; RODRIGUES, M. A. M.; FERNANDES, R. M. N.; SILVA, J. F. M. da; CARDOSO, C. A.; RAMBO, M. K.D. Phytochemical analysis, toxicity and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of leaves of *Dipteryx alata* Vogel. *Brazilian Journal of Biology* (ONLINE)., v.84, p.e278004 -, 2024.
- [²⁶] PAULA, R.; RIBEIRO, H. M.; BORGES, L. M.; BARRETO, O.A.C.; MONTEL, A. L. B.; SCAPIN, E.; SILVA, K. L. F.; SEIBERT, C. S. The Use of Natural Products in the Treatment of Sickle Cell Disease. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, p.1 - 13, 2024.
- [²⁷] RODRIGUES, M. A. M.; SCAPIN, E. Caracterização Química E Atividade Antioxidante Dos Extratos Da Casca Da Cariniana rubra Gardner ex Miers. *Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*., v.2, p.70 - 79, 2023.
- [²⁸] AUGUSCO, M. A. C.; SARRI, D. A.; PANONTIN, J. F.; RODRIGUES, M. A. M.; FERNANDES, R. DE M. N.; SILVA, J. F. M. DA; CARDOSO, C. A. LIMA; RAMBO, M. K. D.; SCAPIN, E. Extracts from the Leaf of *Couroupita guianensis* (Aubl.): Phytochemical, Toxicological Analysis and Evaluation of Antioxidant and Antimicrobial Activities against Oral Microorganisms. *Plants*., v.12, p.2327 -, 2023.
- [²⁹] FERNANDES, R. DE M. N.; CARDOSO, C. A. L.; ALVES, D. R.; MORAIS, S. M.; SCAPIN, E. Parkia from Cerrado: phytochemical bioprospection, toxicity and in vitro bioactivities of bark and flower extracts. *Brazilian Journal of Biology* (ONLINE)., v.83, p.e275733 -, 2023.
- [³⁰] TREVISAN, M.; RODRIGUES, P. S. M.; NUNES, A. I. S.; FALCAO, M. S.; MARTINS, H. C.; SCAPIN, E.; SANTOS, M. G. dos; SEIBERT, C. S. Antiedematoxic activity of *Petiveria alliacea* L. in bothropic poisoning. *Journal of Medicinal Plant Research*., v.16, p.315 - 325, 2022.
- [³¹] RIBEIRO, C. L.; RODRIGUES, M. A. M.; RODRIGUES, A. C. A.; RAMBO, M. K. D.; SCAPIN, E. Chemical characterization and cytotoxicity of extracts of leaves of *Virola sebifera* of the cerrado tocantinense. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*., v.12, p.116 - 126, 2022.
- [³²] PANONTIN, J. F.; BARBOSA, R. S.; ISAAC, V.; SEIBERT, C. S.; SCAPIN, E. Chemical composition, antioxidant activity and development of a facial serum formulation from the extract of *Hancornia speciosa*. *Natural Product Research*., v.3, p.1 - 5, 2022.

[23] FERNANDES, R. de M. N.; DIAS, T. S. dos S.; SILVA, M. H. T. d; SCAPIN, E. Efeitos da extração hidroetanolica e sequencial sobre o potencial tóxico dos extratos de diferentes partes da Parkia platycephala do Cerrado tocantinense. Research, Society and Development., v.11, p.e50611225936 -, 2022.

[24] PANONTIN, J. F.; RAMBO, M. K. D.; ISAAC, V.; SEIBERT, C. S.; SCAPIN, E. New antioxidant lauryl-free herbal shampoo formulation with a Brazilian plant extract. Brazilian Journal of Biology (ONLINE)., v.82, p.1 - 9, 2022.

[25] FERNANDES, R.; RODRIGUES, M. A.; CARDOSO, C. A.; ALVES, D.; MORAIS, S.; PANONTIN, J.; SCAPIN, E. Phytocomponents, Evaluation of Anticholinesterase Activity and Toxicity of Hydroethanolic Extracts of Parkia platycephala Benth. Journal of the Brazilian Chemical Society., v.33, p.1414 - 1422, 2022.

[26] CARDOSO, F. M.; FERNANDES, R. M. N.; RODRIGUES, M. A. M.; PANONTIN, J. F.; SCAPIN, E. Bioprospecção fitoquímica, atividade antioxidante in vitro e toxicidade da folha do Caryocar coriaceum do cerrado tocantinense. Gaia Scientia., v.15, p.89 - 104, 2021.

[27] RIBEIRO, C. L.; SILVA, R. M.; FERNANDES, R. M. N.; ARAUJO, M. R.; SOARES, I. M.; SILVA, J. F. M.; NASCIMENTO, G. N. L.; PIMENTA, R. S.; SCAPIN, E. Chemical assessment, antioxidant and antimicrobial of leafs extracts of Virola sebifera, an Amazonian medicinal plant. Research, Society and Development., v.10, p.e578101523068 -, 2021.

[28] PANONTIN, J. F.; NERES, R. P.; FERNANDES, RACHEL DE MOURA NUNES; SCAPIN, E.; SEIBERT, C. S. Chemical characterization and toxicological analyses of hydroalcoholic extracts from the stem and leaves of mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) as a guide for the development of green cosmetics. Journal of Medicinal Plant Research., v.15, p.366 - 379, 2021.

[29] FERNANDES, R. M. N.; RODRIGUES, M. A. M.; PANONTIN, J. F.; ALVES, D. R.; MORAIS, S. M.; SOARES, I. M.; SCAPIN, E. Chemical investigation, toxic potential and acetylcholinesterase inhibitory effect of Parkia platycephala leaf and seed extracts. Journal of Medicinal Plant Research., v.15, p.401 - 412, 2021.

[30] FERNANDES, R. M. N.; SCAPIN, E. Plantas Típicas Do Cerrado Brasileiro Usadas Como Inibidores Da Acetilcolinesterase: Uma Revisão Sistemática. Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins., v.7, p.20 - 31, 2020.

[31] CHAVES, S. M.; PANONTIN, J. F.; SEIBERT, C. S.; SCAPIN, E. Screening Fitoquímico da Folha e Caule da *Hancornia speciosa* Gomes (Manganbeira) com Finalidade de Bioprospecção Cosmética. Brazilian Journal of Health Review., v.3, p.1212 - 1222, 2020.



LaPNaBio
Laboratório de Ensino e Pesquisa em
Produtos Naturais e Biomassa

Desarrollo de envases activos a partir de carbón activado obtenido de residuos de biomasa para alargar la vida útil de frutas y verduras (ENCARBIO)

Jessica Chaparro Garnica y Diego Cazorla Amorós

Instituto de Materiales. Universidad de Alicante. Apartado 99. 03080 Alicante.

El grupo de investigación Materiales Carbonoso y Medio Ambiente (MCMA) de la Universidad de Alicante a través del proyecto ENCARBIO, aprovecha residuos de biomasa lignocelulósica para la preparación de carbones activados que adsorban el etileno emitido por las frutas y/o verduras durante su proceso de maduración, lo que ayuda a retrasar su deterioro. El equipo de ENCARBIO, proyecto financiado por la Agencia Valenciana de la Innovación en el programa valorización y transferencia de resultados de investigación a las empresas (INNVA1/2022/26), lo forman Diego Cazorla Amorós, Emilia Morallón, Ángel Berenguer Murcia y Jessica Chaparro Garnica. Además, cuenta con la colaboración de ITENE, centro tecnológico especialista en I+D+i en envases y embalaje.

El objetivo principal del proyecto ENCARBIO es la optimización y escalado de la síntesis de carbones activados con texturas porosas definidas que, obtenidos a partir de diferentes tipos de residuos agroalimentarios, se incorporen en diferentes matrices poliméricas con el fin de tener nuevos envases que actúen adsorbiendo las moléculas emitidas durante el proceso de maduración de frutas y verduras frescas, causante de su rápido deterioro. El desarrollo de envases activos a partir del uso del carbón activado logrará mejorar la conservación y extender la vida útil de frutas y verduras frescas, contribuyendo a la reducción global de desperdicio alimentario.

Este proyecto se alinea con la nueva ley de residuos y suelos contaminados en España, la cual busca fomentar una economía circular y baja en carbono. Según la Comisión Europea y la organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura 1/3 de los alimentos para consumo humano a nivel mundial son desperdiciados. Más concretamente en Europa ~ 88 millones de toneladas de alimentos son desperdiciados lo que corresponde a ~ 143.000 millones de euros. Según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en España la fruta es el alimento que más se desperdicia en España junto con las verduras, hortalizas, lácteos, bebidas, pan y productos cárnicos frescos. Por lo tanto, el desarrollo de tecnologías de conservación es fundamental para reducir los desperdicios alimentarios, especialmente en aquellos productos perecederos como las frutas y verduras. Las mejoras de las tecnologías de conservación mediante envasado constituyen una alternativa a prácticas de postcosecha tradicionales, más agresivas, menos sostenibles y con más riesgos para la salud humana. En respuesta a la necesidad de mejorar estos aspectos, se vienen desarrollando soluciones de envase innovadoras como es la

tecnología de envases activos.

El desarrollo del presente proyecto presenta ciertas ventajas relacionadas con la metodología convencional de síntesis de los carbones activados, usando un método más eficiente que se puede aplicar a diferentes precursores y en el que el contenido de humedad de la materia prima no es un problema. De esta forma, casi el 40% de peso del residuo se pueda transformar en un nuevo recurso utilizando el procedimiento desarrollado por el grupo de investigación. Por otra parte, tiene ventajas medioambientales ya que la valorización de los residuos de biomasa evita que acaben siendo incinerados o depositados en vertederos emitiendo gases y líquidos durante su descomposición al medio ambiente, y económicas, al disminuir los costes de nueva materia prima para la síntesis de carbón activado. En definitiva, con todo esto se puede llegar a dar solución a dos problemáticas detectadas en el mercado. Por un lado, valorizar los subproductos producidos en la industria agroalimentaria y, por otro, aumentar la vida útil de los productos alimentarios envasados para conseguir ampliar los horizontes de exportación, abriendo nuevos mercados.

Durante la ejecución del proyecto se ha llevado a cabo la optimización y escalado del proceso de síntesis de carbones activados a partir de residuos agroalimentarios con excelentes propiedades texturales. Además, se ha optimizado el método de incorporación de carbón activado en materiales de envase para alcanzar las propiedades porosas deseadas. Con esto, se ha logrado el desarrollo de *films* flexibles activos con adecuada capacidad de adsorción de etileno.

Los carbones activados se prepararon mediante activación química con ácido fosfórico (H_3PO_4) que es una de las tecnologías que permite alcanzar los mayores rendimientos de producto final. Se llevó a cabo la síntesis de los carbones activados usando dos metodologías, la primera metodología es la activación química convencional mediante la impregnación de los residuos de biomasa con H_3PO_4 en concentraciones elevadas (superiores al 70 % en peso) y posterior tratamiento térmico en atmósfera inerte hasta temperatura de (o superior a) 450 °C. La segunda metodología de síntesis empleada incluye una etapa de carbonización hidrotermal de los residuos de biomasa en presencia de una disolución acuosa diluida de H_3PO_4 (25 % en peso). Para las dos metodologías se optimizó el proceso variando las condiciones experimentales (temperatura, tiempo y relación H_3PO_4 /biomasa), y se analizó su efecto en el rendimiento, propiedades texturales y química superficial de los carbones activados. Los carbones

activados obtenidos se han caracterizado mediante adsorción física de gases, análisis de la química superficial mediante desorción a temperatura programada (DTP) y espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS), determinación del pH en el punto de carga cero (pH_{PZC}) y análisis de la morfología de los materiales mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

Se logró obtener carbones activados a partir de cáscara de almendra y hueso de aceituna con rendimientos

cercanos al 45 % mediante las dos metodologías de síntesis mencionadas anteriormente. Estos carbones activados tienen superficies específicas superiores a 1500 m²/g. La Figura 1 presenta un ejemplo de las isotermas de adsorción y desorción de N₂ a -196 °C obtenidas para carbones activados preparados a partir de hueso de aceituna mediante activación convencional, usando diferentes relaciones de impregnación H₃PO₄/biomasa (R1 (2:1), R2 (3:1)) y diferentes temperaturas (T1 (450 °C), T2 (550 °C)).

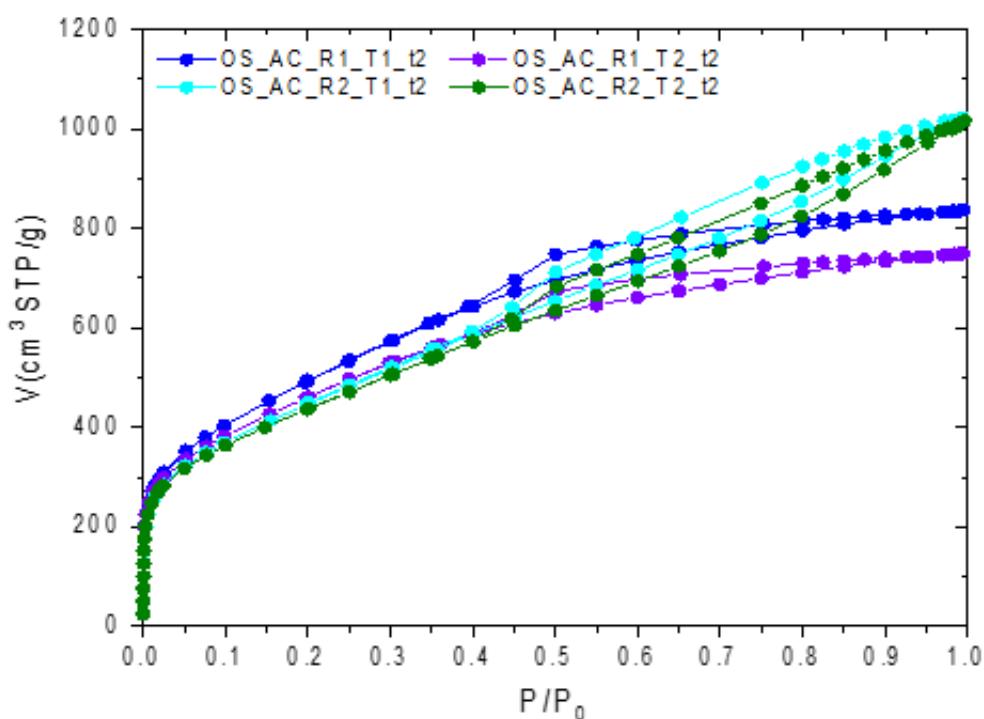


Figura 1. Isotermas de adsorción y desorción de N₂ a -196 °C de los carbones activados preparados a partir de hueso de aceituna (OS) mediante activación convencional.

El equipo de investigadores de **ENCARBIO** se encuentra en fase de validación de los materiales activos desarrollados usando frutas. En la validación de los materiales activos desarrollados se está evaluando el impacto en la vida útil de los productos envasados determinando pérdida de peso, tamaño y se realizará un análisis sensorial (color, olor y textura).

Desde el inicio del proyecto en 2022, se ha contactado con empresas como BONNYSA, FRUILOMAR y PERA DE JUMILLA, las cuales han mostrado mucho interés al conocer el objetivo del proyecto ENCARBIO y proporcionaron sus productos para validación de los envases desarrollados.



Cofinanciado por
la Unión Europea

Valorización de lignina mediante la obtención de catalizadores y productos químicos de interés

M. García-Rollán

Presented in 2023, Departamento de Ingeniería Química (F. de Ciencias). Universidad de Málaga, 19010 Málaga, Spain

SUPERVISORS: T. Cordero and J. Rodríguez-Mirasol (Universidad de Málaga, España)

Objectives and novelty

Lignin is a biopolymer obtained as by-product in the pulp industry and possibly, in the next future, in lignocellulosic biorefineries. The current purpose of lignin is the generation of electricity in the plants where it is produced. Due to the exponential rise of the world population, its production has been surprisingly increased. According to the principles of green chemistry and zero waste processes, its valorization becomes imperative.

Therefore, the objective of the present work is the study of different alternatives for the integral valorization of residual lignin. To achieve this objective, two valorization routes are proposed i) it uses as raw material for the preparation of carbon materials of high industrial interest, such as activated carbons and carbon fibers, ii) and as reactant for the production of high added value compounds, like catalytic depolymerization of lignin, using also lignin derived-catalyst, as summarized in Figure 1.

Results

Initially, the preparation of a carbon catalyst, from physical activation with CO_2 of a magnesium lignosulfonate, active for the dehydrogenation reaction of 2-propanol, was explored. The results showed that only a carbonization treatment at 900 °C produces hollow porous carbon spheres with apparent surface areas higher than 450 m²/g. After partial activation with CO_2 , the resulting activated carbon presents an apparent surface area around 700 m²/g and ca. 15%wt of Mg. The conversion of 2-propanol was higher than $X_{\text{2-propanol}} = 95\%$, showing a selectivity towards acetone near to $S_{\text{acetone}} = 100\%$, evidencing the high basic character of these carbon catalyst. On the other hand, the effect of the physicochemical properties of different lignins on the porosity of activated carbons chemically activated with

H_3PO_4 was analyzed. With the different experimental conditions evaluated, it was possible to prepare activated carbons essentially microporous (with A_{BET} higher than 2000 m²/g) or with high contribution of mesopores (V_{meso} as large as 2.0 cm³/g).

The activated carbon with the most developed mesoporosity was selected as the starting point for the preparation of active catalysts for oxidative and reductive lignin depolymerization. The oxidative depolymerization of lignin was studied on this activated carbon after its functionalization with nitro groups. The same carbon support was used to synthesize a copper-loaded catalyst, used for comparative purposes. In the catalyst functionalized with nitro groups, the formation of N-P species was observed, which presented the highest activity for the production of vanillin. This catalyst maintained its activity in the presence of oxygen in the reaction medium during successive reaction cycles. The maximum yield towards vanillin obtained was around 3.6% wt, which represented an increase of more than 30% with respect to the reaction without heterogeneous catalyst.

The lignin reductive depolymerization was carried out on three different catalysts. The activated carbon was loaded with Ni, Co-Mo and Ni-Mo yielding carbon materials with a strong interaction between the metal and the phosphorus contained in the activated carbon. The Ni-Mo catalyst presented a high concentration of a mixed phosphide MoNiP, which resulted in a yield to aromatic monomers and cycloalkanes of more than 12 % wt. In addition, for the sake of comparison, the reaction was also carried out using a commercial Ru-loaded activated carbon, which showed significantly lower yield towards bio-oil than the Ni-Mo phosphide-rich catalyst. Figure 2 schematically represents the lignin oxidative and reductive depolymerization processes carried out in this work.

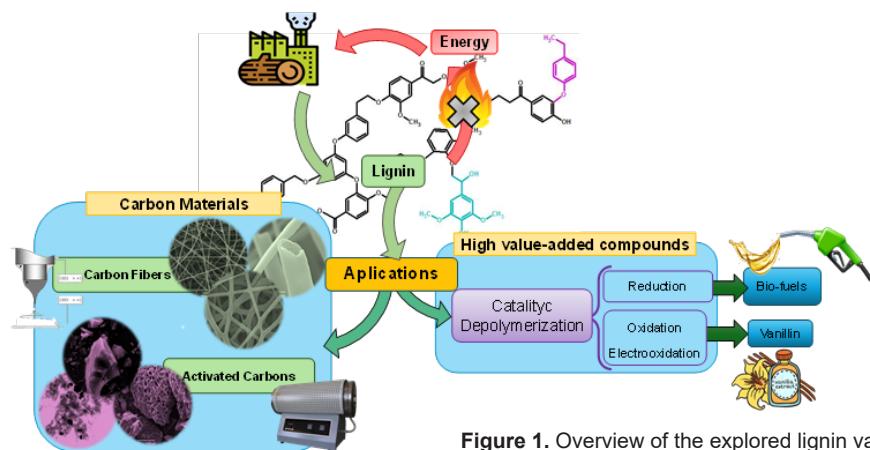
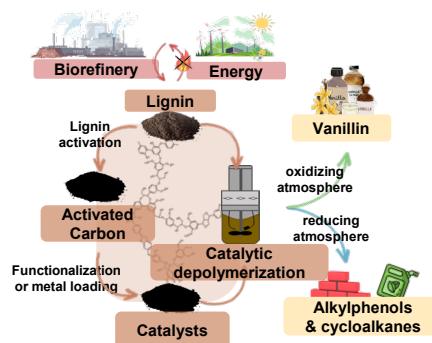


Figure 1. Overview of the explored lignin valorization routes.

As an alternative, the use of lignin-derived carbon fibers electrocatalysts in the electrooxidative depolymerization reaction of lignin was also explored. Carbon fibers were prepared by electrospinning technique, whereby several lignin solutions containing metal precursors were spun into fibrillar morphology and finally carbonized, resulting in carbon fibers loaded with different metals in a single step. Consequently, electrocatalysts based on carbon fibers loaded with Ni, Co and Pd were successfully synthesized. Cyclic voltammetry experiments showed that Ni-containing carbon fibers exhibited higher activity than their Co and Pd counterparts. Electrocatalytic tests for lignin depolymerization revealed the need to cleave the lignin structure to allow migration of its fragments to the catalyst surface for oxidation. As a result, a yield to vanillin higher than 1% wt was obtained, at atmospheric pressure and room temperature, using the Ni-loaded electrocatalyst, also showing the same activity after several reaction cycles. Finally, a commercial Ni foam catalyst was compared, whose metal content was two orders of magnitude higher than the Ni content present in the carbon fibers. The activity of this commercial catalyst were significantly lower than the one presented by the electrocatalyst based on Ni carbon fibers.

Catalytic depolymerization



Electrocatalytic depolymerization

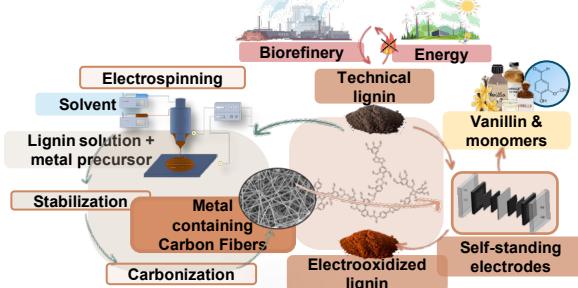


Figure 2. Overall process of lignin depolymerization by oxidative and reductive (A) and electrooxidative (B) pathways.

In order to fully introduce the processes presented herein within the framework of green chemistry and zero waste production, the valorization of the solid wastes obtained after lignin depolymerizations was finally studied. With this goal, this residue was chemically activated with phosphoric acid, obtaining activated carbons with a highly developed porosity (A_{BET} higher than $1000 \text{ m}^2/\text{g}$), suitable for use in catalysis applications or as adsorbents.

Conclusions

The main conclusion of this study raises the possibility of a full valorization of lignin through simple and cost-effective processes. To this end, lignin processing could be integrated within the facilities of a refinery equipped with second-generation ethanol production systems, only with minor modifications of some operation conditions which could significantly improve its overall sustainability. In this way, materials of high industrial interest such as activated carbon or carbon fibers, which can be obtained using non-expensive compounds and equipment, can be economically introduced into the utilities of a traditional refinery, bringing substantial profits.

Related publications

[1] M. García-Rollán, F.J. García-Mateos, R. Ruiz-Rosas, J.M. Rosas, J. Rodríguez-Mirasol and T. Cordero, MgO-containing porous carbon spheres derived from magnesium lignosulfonate as sustainable basic catalysts, *J Environ Chem Eng* 11 (2023) 109060

[2] M. García-Rollán, N. Rivas-Márquez, S. Bertran-Llorens, P.J. Deuss, R. Ruiz-Rosas, J.M. Rosas, J. Rodríguez-Mirasol, T. Cordero, Bio-based vanillin production by oxidative depolymerization of Kraft lignin on a nitrogen and phosphorus functionalized activated carbon catalyst, *Energy Fuels* 38 (2024) 7018–7032

[3] M. García-Rollán, M. Toscano-de los Riscos, R. Ruiz-Rosas, J.M. Rosas, J. Rodríguez-Mirasol, T. Cordero, Oxidative electrochemical depolymerization of lignin using highly active self-standing electrocatalysts prepared by electrospinning of lignin, submitted to *Journal of Environmental Chemical Engineering*

Single-step biogas conversion to bio-hydrogen: sorption enhanced catalytic reforming

A. Capa

Current contact: alma.capatamargo@tno.nl

Presented in 2024, PhD Program in Energy and Process Control, University of Oviedo. Carried out at the Institute of Carbon Science and Technology (INCAR), CSIC.

Supervisors: Dr. C. Pevida and Dr. M.V. Gil from INCAR, CSIC

Objectives and novelty

The importance of hydrogen as a future clean and renewable energy source has become more prominent as climate change and global warming have attracted increasing attention worldwide. However, most of the hydrogen produced comes from the steam reforming (SR) of fossil resources. Therefore, advanced technologies have been developed to implement CO₂ capture in the process and replace fossil resources with renewables.

This thesis focuses on the production of renewable high-purity hydrogen from biogas using Sorption Enhanced Steam Reforming (SESR), a intensified SR process. This process combines the reforming reaction for H₂ production with in situ CO₂ separation and it is based on Le Chatelier's principle. As a result, the H₂ purity and yield are significantly increased.

The main objective is to produce high-purity, low-carbon hydrogen from biogas, regardless of the composition of the biogas. The influence of CH₄ and CO₂ concentrations (vol.%) in the biogas on the process performance was evaluated experimentally, together with a thermodynamic analysis of the process by simulation. Thus, the effect of biogas H₂S content on hydrogen production by the SESR process was studied experimentally. The energy efficiency of the biogas SESR process was studied for different process configurations being one of the main important aspects of the study the heat integration to minimize the external utilities. Additionally, a preliminary techno-economic assessment was done. Finally, the efficiency of bio-DME production (as hydrogen carrier) from biogas was studied by simulation integrating the biogas SESR and SEDMES processes to take advantage of their existing synergies.

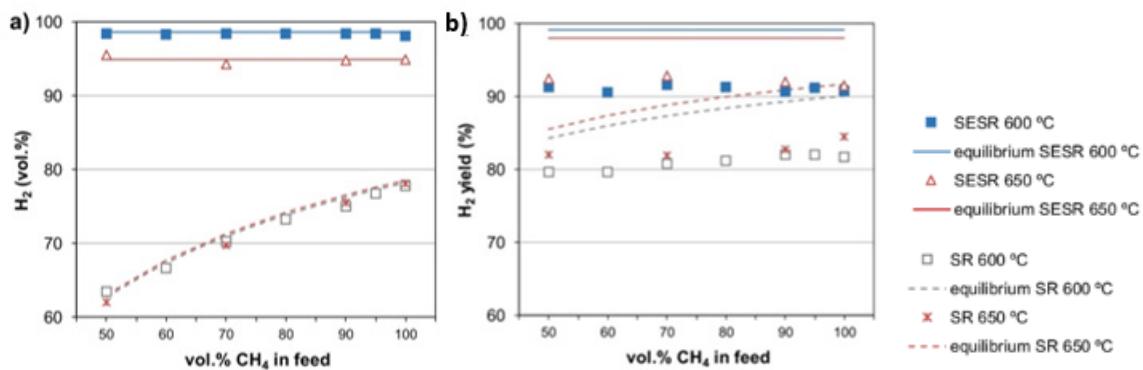


Figure 1. Effect of methane content in biogas on the H₂ concentration (a) and H₂ yield during SESR and SR at 600 and 650 °C. Reaction conditions: steam/CH₄ = 6 mol/mol, GHSV_{CH4} = 1969 mL CH₄gcat⁻¹h⁻¹, sorbent/catalyst ratio = 20 g/g, Pd/Ni-Co HT catalyst and dolomite sorbent.

Main results

Regarding the effect of biogas composition (concerning CH₄ content) H₂ yield, H₂ selectivity, CH₄ conversion, H₂ purity, and concentrations of CH₄, CO, and CO₂ in the effluent gas were analysed for different CH₄ and CO₂ compositions (vol.%) of the biogas. The results were compared with the biogas steam reforming (SR) process without CO₂ capture. High-purity (98.4 vol.%) and high-yield (91%) H₂ can be obtained by SESR of biogas (CH₄+CO₂) over a Pd/Ni-Co catalyst and using Arctic dolomite as carbon dioxide sorbent.

The effect of H₂S concentration (150, 350, 500, and 1000 ppm) in the biogas (60 CH₄/40 CO₂ vol./vol.%) on the performance of the SESR process was also studied. No catalyst deactivation due to H₂S poisoning was detected during cyclic SESR of biogas at 600 °C for H₂S concentrations of 150 and

350 ppm (five cycles). However, for 1000 ppm H₂S, a slight decrease in H₂ yield (between 4.5% and 10.8% points) and H₂ purity (between 2% and 3% points) was found.

In addition, different process flowsheets were designed in AspenPlus software and the economic analysis of the most promising one was carried out using biogas as feedstock. Natural gas was also used for comparison purposes. In the case of biogas, the lowest value of the levelised cost of hydrogen (LCOH) was obtained when the heat was supplied to the calciner by indirect air combustion in an external burner (2.8 €/kg H₂ including CO₂ storage). In the case of natural gas using an indirectly heated calciner, the LCOH was only slightly lower (2.6 €/kg H₂ including CO₂ storage), indicating that biogas could be a potential substitute for natural gas, being renewable and economically competitive.

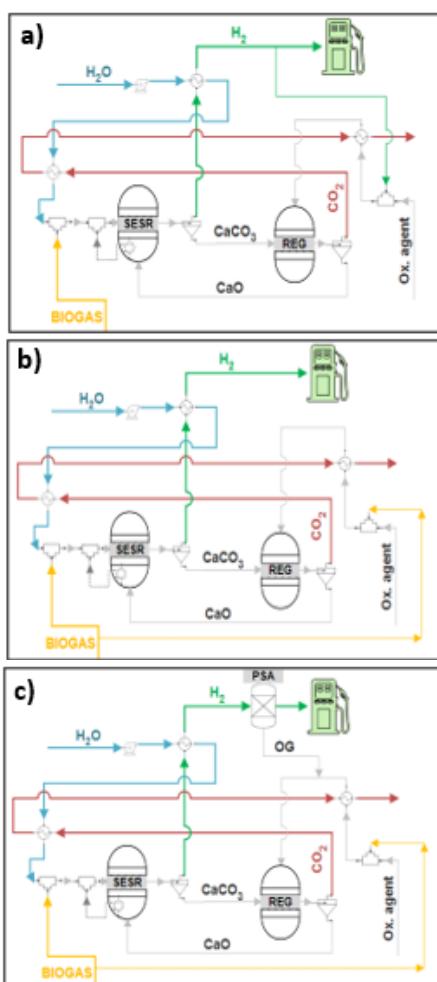


Figure 2. Simplified flow diagrams of the process configurations proposed for the biogas SESR; a fraction of the produced H₂ is used as fuel for the sorbent regeneration (a) or biogas is utilized as fuel for the sorbent regeneration or biogas is used for fuel for the sorbent regeneration, and a PSA unit is included (c).

Finally, the integration of the biogas SESR process with the Sorption Enhanced Dimethyl Ether (DME) Synthesis (SEDMES) process is studied. SEDMES is a novel process to synthesize DME in which water is removed in situ with a solid adsorbent, following the same concept based on Le Chatelier's principle as the SESR process. This work evaluated the production of bio-DME from biogas by efficiently integrating the SESR and SEDMES processes, achieving a final Cold Gas Efficiency (CGE) of 74%.

Conclusions

According to the experimental results obtained, the production of renewable H₂ by the sorption enhanced steam reforming (SESR) of biogas has been demonstrated both thermodynamic and experimentally. High-purity (98.4 vol.%) and high-yield (91%) hydrogen can be obtained by SESR of biogas (CH₄+CO₂) on a Pd/Ni-Co catalyst and using Arctic dolomite as carbon dioxide sorbent. Additionally, the catalyst did not deactivate due to H₂S poisoning during cyclic SESR of biogas for H₂S concentrations of 150 and 350 ppm at 600 °C. However, a H₂S concentration of 1000 ppm slightly reduced H₂ yield and H₂ purity.

On the other hand, regarding the simulation work did, it was observed that a flowsheet configuration

that includes regeneration using biogas as fuel and a PSA for the purification of the H₂ can produce ~100 vol. % H₂ purity at 675 °C, 5 bar, and S/CH₄ = 5, with a CGE of 77.3% and zero carbon emissions if air-fired calciner is applied. However, potentially negative emissions and ~100% captured CO₂ are feasible if regeneration is performed in an oxy-fuel combustion atmosphere. Partial negative emissions could also be feasible if the air combustion is performed in an external burner.

Regarding the techno-economic analysis comparing biogas and natural gas SESR, the lowest levelised cost of hydrogen (LCOH) is obtained when using natural gas (2.6 €/kg H₂ including CO₂ storage), but this is also the only case with CO₂ emissions (2.8 kgCO₂/kg H₂). The lowest LCOH when musing biogas is 2.8 €/kg H₂ with CO₂ storage suggesting that biogas could be a potential substitute for natural gas and economically competitive.

Finally, from the integration of biogas SESR and DME production by SEDMES, it can be concluded that it could be possible to convert biogas into DME efficiently following a net zero approach integrating biogas SESR and SEDMES technologies. By exploiting the synergies between the two processes, it was possible to leverage the overall CGE to 74 from 63.8%.

Related publications

The work presented in this thesis dissertation results from three published papers and two international collaborations. The main related publications are as follows:

- [1] Effect of H₂S on biogas sorption enhanced steam reforming using a Pd/Ni-Co catalyst and dolomite as a sorbent. A. Capa, M. P. González-Vázquez, D. Chen, F. Rubiera, C. Pevida, and M. V. Gil. Chem. Eng. J., vol. 476, no. July, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146803> (Q1)
- [2] Process simulations of high-purity and renewable clean H₂ production by sorption enhanced steam reforming (SESR) of biogas. Capa, A., Yongliang, Y., Rubiera, F., Pevida, C., Gil, M.V., Clough, P.T., 2023. 1. ACS Sustain. Chem. Eng. <https://doi:10.1021/acssuschemeng.2c07316>. Article in press.
- [3] Biogas, a renewable source of methane and hydrogen. Capa, A. Durán, I., Gil, M.V., Rubiera, F., Pevida, C., 2022. Boletín Ciencia y Tecnología RIDEA, nº56: 43-60.
- [4] Blends of bio-oil/biogas model compounds for high-purity H₂ production by sorption enhanced steam reforming (SESR): Experimental study and energy analysis. Rodríguez, S., Capa, A., García, R., Chen, D., Rubiera, F., Pevida, C., Gil, M.V., 2021. Chem. Eng. J. 432, 134396. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.134396> (Q1).
- [5] On the effect of biogas composition on the H₂ production by sorption enhanced steam reforming (SESR). Capa, A., García, R., Chen, D., Rubiera, F., Pevida, C., Gil, M. V., 2020. Renew. Energy 160, 575–583. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.122> (Q1).

Full thesis can be downloaded from: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/72585>

II CURSO – SEMINARIO del GEC

del 18 al 20 de noviembre de 2024, Baeza (Jaén)

El carbono y sus materiales, caracterización y aplicaciones

Agustín F. Pérez Cadenas

Universidad de Granada, presidente del GEC.

Esta nueva edición de nuestro curso de formación está dirigida por los profesores Ramiro Ruiz Rosas y Agustín F. Pérez Cadenas, y tendrá lugar en las instalaciones de la Sede Antonio Machado de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA), en la ciudad de Baeza, que cuenta también con una residencia anexa a disposición de estudiantes y profesores que participen en el mismo. Las fechas elegidas para esta segunda edición son **del 18 al 20 de noviembre de 2024**.

El horario del curso es: de 9:00 a 14:00h y de 16:00 a 19:00h el lunes 18 y martes 19, y de 9:00 a 14:00h el miércoles 20 de noviembre. Los ponentes tratarán las siguientes temáticas:

Lunes, 18 de noviembre:

- Evolución de los materiales de carbono como respuesta a los desafíos de nuestra sociedad. Rosa Menéndez – INCAR, CSIC.
- Síntesis sostenible de materiales de carbono porosos. Noel Diez Nogués - INCAR, CSIC.
- Geles de carbono y sus aplicaciones. Agustín F. Pérez Cadenas – UGR.
- Caracterización de la Química Superficial de Materiales de Carbono. Francisco Heras Muñoz - UAM.

Martes, 19 de noviembre:

- Caracterización de la textura porosa de materiales de carbono y aplicaciones en almacenamiento de energía. Diego Cazorla Amorós – UA.
- Caracterización superficial de materiales de carbono mediante métodos electroquímicos y aplicaciones en sensores. Emilia Morallón – UA.
- Opciones y oportunidades en tecnologías de captura de CO₂. Alberto Abad – ICB, CSIC.
- Materiales de carbono para pilas de combustible, electrolizadores y baterías. Cinthia Alegre Gresa – ICB, CSIC.

Miércoles, 20 de noviembre:

- Aplicaciones catalíticas de los materiales de carbono. Juana M^a Rosas – UMA.
- Aplicaciones medioambientales de los materiales de carbono. Tomás Cordero Alcántara – UMA.
- Mesa redonda fin de curso: Ramiro Ruiz Rosas – UMA y Agustín F. Pérez Cadenas.

Para inscribirse en el curso ya se puede acceder al procedimiento on-line de auto matrícula de la UNIA mediante el siguiente enlace: <https://www.unia.es/carbono-materiales-caracterizacion-aplicaciones>

El coste del curso (expediente y matriculación) es de 158€. Adicionalmente habría que sumar el coste de la residencia de la UNIA que asciende a 25 €/noche para los que prevean hacer uso de ella, y no sean socios del GEC, ya que el precio de la matrícula (158€) para los socios del Grupo Español del Carbón, incluye el alojamiento durante el curso en habitación compartida (tres noches). El plazo de matrícula finalizará el 14 de noviembre de 2024. Esperamos que sea de interés para el público en general, y nuestros socios en particular.



JORNADA DE JÓVENES
INVESTIGADORES DEL GEC

BAEZA 2024

II Jornadas de Jóvenes Investigadores del Grupo Español del Carbón

El **Grupo Español del Carbón (GEC)** organiza las II Jornadas de Jóvenes Investigadores que se celebrarán en la sede Antonio Machado de la UNIA (Baeza, Jaén) del 20 al 22 de noviembre de 2024.

Creemos firmemente en la necesidad de fomentar la capacidad de innovación, el pensamiento creativo y la investigación de excelencia entre las nuevas generaciones de investigadores. Por ello, creamos este espacio de encuentro en un entorno único donde poder potenciar motivaciones, intercambiar experiencias y promover colaboraciones.

Las jornadas girarán en torno a los “**Materiales de carbono en la vanguardia de la tecnología y la sostenibilidad**”, con la presentación de los trabajos de los participantes en formato oral y póster, organizados en torno a topics por sesiones. Además, con ánimo de orientar futuras carreras investigadoras, contaremos con dos interesantes (¡y motivadoras!) ponencias: “*Una carrera investigadora. ¿Qué opciones de financiación tengo?*”, impartida por María Ros (Vicerrectorado de Investigación, Universidad de Granada) y “*Carrera investigadora: de la academia al sector privado*”, impartida por Juan Pablo Marco (Gas to Materials Technologies, S.L.).

Desde la organización os animamos a enviar vuestras contribuciones antes del **1 de octubre** a organizacion.jjgec2024@gmail.com. indicando el topic que seleccionéis:

- Síntesis y caracterización de nuevos materiales de carbono.
- Aplicaciones de los materiales basados en carbono en generación y almacenamiento de energía.
- Aplicaciones innovadoras de los materiales basados en carbono: salud, industria, medioambiente y sostenibilidad.
- Tecnologías para la generación sostenible de energía.

Los **costes de inscripción** serán de 40 euros para socios del GEC y 100 euros para no socios, en los que se incluyen el alojamiento en habitación compartida y dos comidas. 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 (Instagram: @jornadasgec24; X (Twitter): @II_JJI_GEC_2024).

Socios protectores del Grupo Español del carbón



Industrial Química del Nalón, S.A.
NalónChem