

Avenços en recerca i desenvolupament del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Departament d'Enginyeria Gràfica
i de Disseny



OmniaScience
Monographs



Editors: Oscar Farrerons, Noelia Olmedo, Alba Ramos, Blanca Roncero

Avenços en recerca i desenvolupament del
Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny - UPC

Barcelona, febrer de 2023

Avenços en recerca i desenvolupament del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Coordinador: Oscar Farrerons Vidal

Editors: Oscar Farrerons Vidal, Noelia Olmedo Torre, Alba Ramos Cabal,
Blanca Roncero Vivero



1ra edició © 2023 OmniaScience (Omnia Publisher SL)

www.omniascience.com



DOI: <https://doi.org/10.3926/ege2023>

ISBN: 978-84-126475-1-8

Disseny de coberta: OmniaScience

Fotos de coberta: © 2023 Sílvia Escursell

Índex

Pròleg	7
Reunión anual de la red internacional de I+D CECIAC en Barcelona	11
Avaluació de les Estratègies de Desenvolupament a Llarg termini en Baixes Emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle (LT-LEDS) i del pressupost de carboni dels compromisos de neutralitat de carboni	27
Treballs Finals d'Estudi del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny a la secció EEBE	40
Aprendizaje activo con PBL en el diseño instruccional de Expressió Gràfica	56
Segregació de l'estudiantat en els graus d'enginyeria	71
Memorias del paisaje nilótico: Prospección, simulación y recreación de la inundación estacional en la zona del dique de Mimbal (Mínia, Egipto)	84
Applying artificial intelligence models for the automatic forest fire detection	95
Revalorització dels fangs de la indústria paperera per produir films per l'embalatge	105
Solución de camperización a partir de residuos	124
Analytical methods applied to the study of modernist stained glass	140
La relació amb la natura en el disseny d'un packaging per a e-commerce	152
Dispositivos Microfluídicos Digitales: Fundamentos de su funcionamiento, requerimientos de fabricación y aplicaciones	168
LOCATE: Prediction of plastic hotspots in coastal regions using numerical simulations in a coupled system	180

Herramientas para integrar los objetivos de desarrollo sostenible en las ingenierías	196
Justicia climàtica: Dret al desenvolupament sostenible en la repartició equitativa d'emissions	217
Incorporació d'aspectes sobre la persona en el projecte de disseny en l'enginyeria	239
Replantación de posidonia oceánica: Estudio de una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático	255

PRÒLEG

Des de fa cinc anys, el Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) organitza una Jornada de Recerca per posar en valor els estudis i les diferents branques d'investigació que el professorat del DEGD porta a terme, en col·laboracions entre les diferents seccions departamentals, però també amb d'altres departaments UPC, i fins i tot amb d'altres universitats.

L'edició de la present publicació recull diversos exemples de recerca portada a terme pel DEGD. En aquest llibre trobareu un treball que explica les activitats realitzades durant la reunió anual de la xarxa internacional de recerca CECIAC que va tenir lloc a la tardor del 2022 a Barcelona. Podreu llegir com s'avaluen les estratègies de desenvolupament a llarg termini en baixes en emissions (LT-LEDS), i també com s'avalua el pressupost de carboni dels compromisos de neutralitat de carboni. També una investigació bibliomètrica sobre els Treballs Final d'Estudi (TFE) de la secció EEBE del DEGD. I, en un altre capítol, una aportació sobre l'aprenentatge actiu amb PBL al

disseny instruccional de l'assignatura "Expressió Gràfica". Una altra branca d'estudi permet analitzar la segregació de l'estudiantat en els graus d'enginyeria. I com a mostra de la variabilitat de la recerca en que està implicat el professorat del DEGD, una prospecció, simulació i recreació de la inundació estacional a la zona del dic de Mimbal (el Nil, Egipte). La intel·ligència artificial també hi és present amb un model per detectar de manera automàtica els incendis forestals. Des de la secció paperera del departament s'estudia una revalorització dels fangs de la indústria paperera per produir films per l'embalatge; així com una solució per la camperització a partir de residus. D'entre els capítols que podeu consultar en aquest llibre es destaca la metodologia analítica aplicada a l'estudi dels vitralls modernistes. També des de CELBIOTECH es comenta la relació amb la natura en el disseny d'un packaging per a e-commerce; i en un altre capítol els fonaments dels Dispositius Microfluídics Digitals, juntament amb el seu funcionament, els requeriments de fabricació i les seves aplicacions. Hi ha un treball que descriu una eina tecnològica que permet la predicció de punts calents de plàstic a les regions costaneres mitjançant simulacions numèriques en un sistema acoblat. La relació del DEGD amb el màster en Ciència i Tecnologia de la Sostenibilitat permet no solament indagar en eines per integrar els objectius de desenvolupament sostenible a les enginyeries; sinó també el dret al desenvolupament sostenible en la repartició equitativa d'emissions. Finalment, per mostrar la gran diversitat de recerca, destacar la crònica de la incorporació d'aspectes sobre la persona en el projecte de disseny en l'enginyeria, i un estudi d'una estratègia de mitigació i adaptació al canvi climàtic a partir de la posidònia oceànica.

En el futur immediat segur que el nostre departament continuarà avançant en la investigació, cada vegada més dispersa en temes, i a la

vegada amb més col·laboracions amb d'altres institucions. Ens afectarà, com a tota la societat, la irrupció de la intel·ligència artificial (IA), com ara mateix està començant a impactar el ChatGPT, la més actual versió de IA. Una intel·ligència artificial que pot ser creativa i original, com el que se'ns demana als actuals docents i investigadors universitaris. Els experts vaticinen que la IA serà la indústria més disruptiva del moment, i les grans tecnològiques ja estan invertint enormes sumes de diners en ella. Ja hem començat a llegir, publicats a diaris, articles no escrits per persones sinó per IA. La Vanguardia va entrevistar el ChatGPT i aquest (o aquesta) va dir que la tecnologia havia vingut per ajudar les persones. Potser en el proper llibre que publiquem sobre la recerca del nostre departament hi haurà algun capítol escrit pel ChatGPT?

Febrer 2023

Oscar Farrerons Vidal

Coordinador V Jornada de Recerca d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Noelia Olmedo Torre

Directora Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Alba Ramos Cabal

Secretària Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Blanca Roncero Vivero

Sotsdirectora Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

REUNIÓN ANUAL DE LA RED INTERNACIONAL DE I+D CECIAC EN BARCELONA

Oscar Farrerons Vidal

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny.

Àgueda García Carrillo

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció.

Resumen

Durante la última semana de setiembre 2022 la ciudad de Barcelona acogió la reunión anual de la red internacional I+D CECIAC (proyecto para fortalecer las capacidades de gestión para la innovación de equipos de docentes en universidades iberoamericanas), proyecto bajo el patrocinio y financiación de CYTED. Participaron en la reunión profesores y expertos en innovación tecnológica y social representantes de los ocho países que conforman el proyecto. Durante la semana se visitaron los principales polos de innovación sostenible académica y empresarial de Barcelona, como aprendizaje y conocimiento de nuevas experiencias. Las sesiones internas de trabajo se realizaron en Citalab Cornellà y en la ETSEIB, en el Departamento de Ingeniería de Proyectos y de la Construcción. La reunión terminó con la definición de la estrategia y el plan de trabajo 2023 para la consecución de los objetivos del proyecto. El artículo narra algunas de las visitas y aprendizajes en *Barcelona 22@Network*, *Centro de Control de La Movilidad de Barcelona*, *Barcelona Activa*, y *UPC Technology Center*.

Abstract

During the last week of September 2022, the city of Barcelona hosted the annual meeting of the CECIAC international R&D network (project to strengthen management capacities for innovation of teaching teams in Ibero-American universities), a project sponsored and financed by CYTED. Professors and experts in technological and social innovation, representatives of the eight countries that make up the project, participated in the meeting. During the week, the main centers of innovation were visited, also from a business point of view and from a sustainability point of view, in Barcelona, as a means of learning about and discovering new experiences, and as a complement to the work meetings that took place at Citalab Cornellà. The meeting ended with the definition of the final objectives and the 2023 work plan of the CECIAC network, the expected year of completion of the project. The article narrates some of the visits and learning in Barcelona 22@Network, Barcelona Mobility Control Center, Barcelona Activa, and UPC Technology Center.

1. Introduction

Del 27 al 30 de setiembre de 2022 tuvo lugar en Barcelona la reunión anual de la red internacional de I+D CECIAC del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

CECIAC es un proyecto internacional para fortalecer las capacidades de gestión para la innovación tecnológica y social de equipos de docentes en universidades iberoamericanas. Esta red cuenta con el patrocinio de CYTED hasta enero de 2024, código del proyecto 619RT0582 e importe de la subvención de 100.000 €. El seguimiento y evaluación del proyecto, para su continuidad, es anual por parte de CYTED. Este programa fue creado por los gobiernos de los países iberoamericanos para promover la cooperación en temas de ciencia, tecnología e innovación y para el desarrollo armónico de Iberoamérica (<http://www.cytod.org>). Es un acuerdo internacional dentro de los

programas de las Cumbres Iberoamericanas de Jefes de Estado y de Gobierno.

La Dra. Zoila Yadira G. de Castillo, de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), es la coordinadora internacional de la red CECIAC, y la Dra. Agueda García Carrillo, de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), es la coordinadora de CECIAC España. El acrónimo CECIAC se refiere a la red “Construcción y Evaluación de Capacidades Innovadoras del sector ACadémico”, proyecto I+D competitivo con inicio enero 2019 y fin enero 2024 (originalmente el proyecto debía terminar en enero 2023 pero se prorrogó un año para recuperar el tiempo perdido debido a la pandemia Covid-19). El objetivo de CECIAC es fortalecer las capacidades de gestión de innovación tecnológica y social en las universidades de los países socios, mediante la interacción con actores públicos, empresariales y de la sociedad civil regional, a fin de propiciar la economía productiva y emprendimientos prosociales para un desarrollo social inclusivo y sostenible.

Integran CECIAC organizaciones universitarias, incubadoras y empresas de 8 países socios, con un total de 49 investigadores pertenecientes a 12 grupos de investigación. En la reunión de septiembre 2022 en Barcelona estuvieron presentes: Zoila Castillo (Universidad Tecnológica de Panamá - UTP), Sidia Moreno (UTP), Gustavo Actis (Parque Tecnológico de Misiones, Argentina), Oscar Rodas (Universidad Galileo, Guatemala), Juan Manuel Montes (Universidad de Medellín, Colombia), Johanna Pelay (ESPOL, Ecuador), Edward Guerrero (Universidad San Carlos, Guatemala), Karina Rosas (Universidad Católica Santa Maria UCSM, Perú), José

Martes 27	Miércoles 28	Jueves 29	Viernes 30
<p>Inauguración del encuentro: Dr. Juan Jesús Pérez, Subdirector relaciones internacionales ETSEIB-UPC</p>	<p>Ecosistema innovación Barcelona: Eco sistema 22@NETWORK BCN y empresas (22@ Barcelona Innovation District)</p>	<p>Sesión de reflexión de lecciones aprendidas / (Campus Sud, ETSEIB, DEPC)</p>	<p>Ecosistema de innovación UPC: CIT-UPC / (Campus Sud, ETSEIB, DEPC)</p>
<p>Ecosistema de innovación UPC: Seminario de la valorización de la innovación (UPC, Campus Nord, edifici Vertex)</p>	<p>Modelo de movilidad sostenible ciudad de Barcelona. (Ayuntamiento de Barcelona, Torrent de l'Olla 218)</p>	<p>Saludo Dr. Lázaro Cremades Oliver, Coordinador de Ingeniería de Proyectos DEPC - ETSEIB - UPC</p>	<p>Sesión interna de trabajo de los miembros de CECIAC:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Acuerdos finales. · Estrategia y plan de trabajo 2023. · Conclusiones.
<p>Acogida académica: Dr. Jan Rosell Gratacós, Subdirector de innovación y transferencia ETSEIB - UPC</p>	<p>Informe del trabajo realizado por CECIAC hasta septiembre de 2022. (Citilab, Cornellà)</p>	<p>Ecosistema innovación tecnológica y social Barcelona: Barcelona Activa (Ayuntamiento de Barcelona, Edificio Media TIC)</p>	<p>(Citilab, Cornellà)</p>

<p>Ecosistema innovación de la Universidad de Barcelona (UB): Visitas modelo de gestión del Parque Tecnológico de Barcelona y modelo de gestión de StartUB!</p>	<p>Resultados de las encuestas CECIAC en las organizaciones socias de la red: · Nivel de madurez tecnológica en proyectos de innovación. · Gestores académicos de innovación. (Citilab, Cornellà)</p>	<p>Diseño de Hoja de Ruta de CECIAC (Citilab. Cornellà)</p>	
<p>Ecosistema innovación de la Universidad de Barcelona (UB): Visitas modelo de gestión del Parque Tecnológico de Barcelona y modelo de gestión de StartUB!</p>	<p>Resultados de las encuestas CECIAC en las organizaciones socias de la red: · Nivel de madurez tecnológica en proyectos de innovación. · Gestores académicos de innovación. (Citilab, Cornellà)</p>	<p>Diseño de Hoja de Ruta de CECIAC (Citilab. Cornellà)</p>	

Tabla 1. Calendario de visitas y sesiones internas de trabajo durante la reunión anual de la red CECIAC en Barcelona.

Esquicha (UCSM, Perú), Beatriz Millán (Universidad de Concepción, Chile), Javier González (Citilab Cornellà), José García (Citilab Cornellà), Agueda García (UPC), Oscar Farrerons (UPC), y los doctorandos UPC Jacqueline Tatiana Hidrobo y Juan Carlos Marcillo.

En el apretado calendario y horario de la reunión anual, además de las sesiones internas de trabajo, se llevaron a cabo las asistencias y presentaciones que se detallan en la tabla 1, todas ellas con el objetivo de conocer de primera mano los centros de innovación social, tecnológica, económica y sostenible de la ciudad de Barcelona.

2. Ecosistema innovación Barcelona: 22@Network

Miércoles 28 de septiembre estuvimos toda la mañana en 22@Network Barcelona donde, de la mano de su directora Isabel Saudí, descubrimos que 22@ es un distrito innovador, catalogado como el primer hub de innovación europea. Gracias al Innotavion Tour pudimos ver como el 22@ y su entorno acoge diversos sistemas de innovación, spin off y startups. El origen del distrito 22@ tuvo lugar cuando un grupo de visionarios influyeron en el ayuntamiento de Barcelona, para que modificara la pretensión de convertir todo el antiguo barrio industrial del Poble Nou en un barrio residencial, y reservar parte de las viejas fábricas y chimeneas para reconvertirlas en un nuevo espacio de trabajo basado en el conocimiento y la innovación. Puesto que la antigua clasificación urbanística industrial era "22a" se creó una nueva clasificación urbanística "22@" para definir este tipo de edificios recuperados y nuevas oficinas, dotadas de las mejores condiciones y equipamientos tecnológicos para poder convertirse en un barrio de emprenduría y conocimiento, todo ello junto a nuevas viviendas y muchas zonas verdes.



Figura 1. A punto de entrar en 22@Network BCN. De izquierda a derecha: José Esquicha, Karina Rosas, Edward Guerrero, Oscar Rodas, Oscar Farrerons, Sidia Moreno, Johanna Pelay, Beatriz Millán, Juan Manuel Montes, Gustavo Actis, Zoila Castillo. (Foto Agueda García).

22@Network BCN es una asociación de empresas privada, creada en 2004, a partir de unas pocas empresas, como T-Systems e Indra, cuya misión es gestionar el entorno innovador del distrito 22@. Actualmente la asociación la componen 220 empresas, todas de base tecnológica e innovadora, de las más de 15.000 empresas (generalistas) que tienen su sede en el distrito. La asociación está organizada en 11 comisiones de trabajo. En el *Innotavion Tour* del 22@Network Barcelona pudimos asistir a diferentes conferencias y coloquios.

Antoni Paz, presidente de la comisión de innovación e industria 4.0 del 22@, nos habló de modelos de innovación de éxito. Su opinión personal es que la mejor manera de innovar es a partir de *startups*. También expuso que España está bien posicionada en los ránquings internacionales en investigación, pero en cambio la posición del país

baja en cuanto a transferencia de tecnología. Antoni recomendó estudiar el concepto de las 6 olas de innovación del investigador Xavier Ferràs (muy interesante el video colgado en YouTube de TEDxUPC) en que la innovación ha pasado de ser un concepto puramente tecnológico a convertirse en un fenómeno complejo de raíz cultural. Desde la Revolución Industrial la innovación se entendió como la introducción de nuevas tecnologías en el mercado, pero hoy en día la innovación se ha "pegado" a algunos territorios (Silicon Valley, Massachussets, Finlandia, Israel, Barcelona). En su opinión hemos pasado de una innovación "cerrada" a una innovación "abierta", cuyas características son: fuentes de conocimiento internas y externas, ideas mejor conectadas con el mercado, y que las soluciones en la fase de mercado son mejores tecnológicamente. La innovación abierta duplica la tasa de éxito (hasta el 80 %) y mejora la productividad (hasta un 60 %).

Clemente López nos presentó un nuevo modelo de incubadora de empresas, la *Bcombinator*. Se trata de una reciente empresa de emprendedores creada, a la vez, por emprendedores de éxito.

Albert Domingo, director de *UPF Ventures* (Universitat Pompeu Fabra) nos explicó el modelo *Spin off* de la UPF, cuyo éxito se mide en que consiguen sacar una media de dos *spin off* anuales al mercado. En sus talleres se ofrece mucho más que un buen espacio: se encuentran personas y proyectos con que generar sinergias, posibilidad de mantener el contacto con docentes y otros estudiantes UPF, mentorías y acompañamiento para dinamizar e impulsar el proyecto, y para crear puentes con la comunidad universitaria y con la sociedad en general.

Rolando García, del Centro Tecnológico de Catalunya EURECAT, mostró el funcionamiento del modelo de innovación basada en un

centro tecnológico privado. En su caso se trata de una fundación privada sin ánimo de lucro, nacida de la fusión de 11 centros tecnológicos existentes anteriormente repartidos por toda la geografía de Catalunya. Se trata de un centro con casi 700 empleados (el 22 % doctores) orientados a resultados, comprometidos con cada uno de los proyectos que llevan a cabo. La Generalitat de Catalunya patrocinó la fusión de los 11 centros con la misión de favorecer y facilitar la diversificación y las nuevas tecnologías para las empresas, no solo catalanas, sino de todo el mundo, puesto que EURECAT lleva a cabo proyectos de innovación en varios entornos mundiales. Su oferta diferencial consiste en crear y/o mejorar productos, servicios y procesos (conjuntamente con la empresa que les encarga el proyecto) desde la idea hasta la industrialización.

Xavier Blanch explicó sobre el *Dribia Data Research* (que utiliza la ciencia de datos para resolver problemas reales), y Antonio Lama reveló un modelo de innovación basada en *startup*, mostrando como ejemplo su propia empresa emergente *Patrocinam*, que pone en contacto eventos culturales y deportivos con marcas con interés en el patrocinio.

3. Centro de Control de la Movilidad de Barcelona

Al medio día del mismo miércoles 28 de septiembre estuvimos en el *Centre de Control de la Mobilitat de Barcelona* (CCMB). En este centro de control fuimos atendidos por Eugeni Rico y Roberto Ríos, que nos explicaron que, desde este equipamiento situado en el popular barrio de Gràcia, el Ayuntamiento de Barcelona vigila la movilidad de toda la ciudad por la que se mueven más de dos millones de vehículos diarios. El tráfico es gestionado por protocolos preestablecidos (junto



Figura 2. Atendiendo las explicaciones del *Barcelona Sustainable Urban Mobility Plan*.
De izquierda a derecha: Oscar Rodas, Oscar Farrerons, Edward Guerrero, Tatiana Hidrobo, Gustavo Actis, Juan Manuel Montes, Beatriz Millán, Sidia Moreno.
(Foto:Agueda García).

con su análisis de datos), que son modificados en función de alteraciones puntuales, por ejemplo en episodios por contaminación de partículas subsaharianas. También se controla el cumplimiento de la ZBE (Zona de Bajas Emisiones) de Barcelona, básicamente a través de 170 cámaras externas (muchas más si se contabilizaran las de los túneles) y más de 800 sensores inteligentes. De hecho, el CCMB se compone de 4 centros: la Central de Operaciones, el Centro de Gestión de la Movilidad, el Centro de Control de Túneles y el Centro de Gestión de Rondas.

Roberto Ríos detalló los aspectos más interesantes del *Barcelona Sustainable Urban Mobility Plan*, el actual plan de movilidad 2018-2024. En este plan el peatón está en el centro del objetivo. Se pretende favorecer la movilidad peatonal, en bicicleta y en transporte público. El objetivo es que el 80 % de la movilidad de la ciudad de Barcelona

sea sostenible, y para ello hay que limitar la circulación en transporte privado, potenciado que los vehículos privados tengan más ocupantes, y sean menos contaminantes. Para conseguir este objetivo se han proyectado más de 60 acciones, una de las más destacadas es la *Superilla Barcelona*. Otra de las acciones más interesantes es la creación de 10 centros de logística urbana (una por distrito), para disminuir el colapso que provocan las furgonetas de distribución, y favorecer la distribución de la última milla con medios sostenibles desde dichos centros de logística. El actual *Barcelona Sustainable Urban Mobility Plan* terminará con el 90 % de las plazas de aparcamiento de superficie reguladas, para facilitar el aparcamiento a los vecinos y dificultarlo a los vehículos en tránsito.

4. Barcelona Activa, Media TIC

El distrito barcelonés de Sant Martí en el pasado fue testigo de la revolución industrial de Barcelona y ahora es el protagonista de la revolución tecnológica. En él se encuentra *Barcelona Activa*, entidad pública del Ayuntamiento de Barcelona, presidida por el primer teniente de alcalde, que se encarga de ejecutar las políticas públicas encaminadas a favorecer el empleo y la innovación en la ciudad. *Barcelona Activa* dispone de tres centros en el distrito: 1- *Glòries*, que fue el primer edificio y donde actualmente existen más de 40 empresas incubadas, de características generalistas; 2- *Media TIC*, edificio situado en la calle Roc Boronat, construido bajo los más exigentes criterios de sostenibilidad y eficiencia, modelo para la nueva arquitectura europea, que alberga incubadas una decena de empresas de base tecnológica; y 3- *Almogàvers*, incubadora basada en la cooperación público-privada, donde se encuentran *startups* de la Universitat Pompeu Fabra, Elisava, etc...El objetivo principal de



Figura 3. En Media TIC. De pie, de izquierda a derecha: Itziar Blasco, Bárbara Mayoral, Íngrid Ros, Gustavo Actis, Oscar Farrerons, Tatiana Hidrobo, José Esquicha, Juan Carlos Marcillo, Karina Rosas, Johanna Pelay, Agueda García. Sentados, de izquierda a derecha: Juan Manuel Montes, Zoila Castillo, Sidia Moreno, Beatriz Millán, Edward Guerrero, Oscar Rodas (Foto: Media TIC).

Barcelona Activa es facilitar la innovación en Barcelona, y que la ciudad se asocie a ella. Actualmente más de 400 personas trabajan en *Barcelona Activa* para facilitar este objetivo de ciudad.

En el edificio *Media TIC* nos esperaban, la mañana del jueves 28, Itziar Blasco, Íngrid Ros y Bárbara Mayoral, para explicarnos el funcionamiento de *Barcelona Activa*, y algunos proyectos que se desarrollan en el *Media TIC*. Mayoral nos explicó en primicia el proyecto *Connectio*, mientras que Blasco nos presentó el *Barcelona Deep Tech Node*, una alianza entre *Barcelona Activa*, las universidades públicas de la ciudad (UB, UAB, UPC, UPF y UOC) creada para apoyar a *startups* y *spinoffs*, de base científica y tecnológica, facilitando su acceso al mercado. Los ámbitos de especial interés son vinculados a: materiales avanzados, inteligencia artificial, *blockchain*, robótica,

fotónica, electrónica, computación cuántica, biotecnología y tecnologías del espacio.

En el segundo piso del *Media TIC* se encuentra el *Cibernàrium*, del que nos contó sus principales entresijos Ingrid Ros. Desde 1999 *Cibernàrium* es el espacio referente en Barcelona en tendencias tecnológicas. Actualmente sigue innovando e impulsando el talento digital. El objetivo es mejorar las competencias tecnológicas de la ciudadanía tanto en la vertiente profesional como en el uso de la tecnología para la vida cotidiana. Además del *Cibernàrium* del *Media TIC* hay otra sede *Cibernàrium* en el distrito barcelonés de Nou Barris. Desde aquí se potencia los perfiles STEM en mujeres y niñas, visualizando casos de éxito femenino y priorizando a las mujeres en las listas de espera a los curso del *Cibernàrium* (todos gratuitos). El año 2021 pasaron 14.000 estudiantes por *Cibernàrium*.

También pudimos visualizar el funcionamiento de *IT Academy*, modelo de formación que ha recibido el reconocimiento del Foro de Desarrollo Local de la OCDE. Se trata de un aprendizaje, presencial y online, que se adapta al ritmo de trabajo y disponibilidad del ciudadano que quiere aprender a programar, incluyendo un servicio de mentoría experto que le acompaña durante todo el proceso y le permite participar en equipos de simulación de proyectos reales.

5. CIT UPC - Technology Center

Viernes 30 por la mañana conocimos el ecosistema de innovación de la Universidad Politécnica de Catalunya, el *UPC Technology Center*. Se trata de una entidad sin ánimo de lucro que pone la capacidad de investigación universitaria al servicio de la innovación en las empresas a partir del conocimiento y los resultados de los centros de

investigación y transferencia de tecnología de la UPC. Sus objetivos son: 1- Contribuir al beneficio general de la sociedad y a la mejora de la competitividad de las empresas, mediante la transferencia de conocimiento tecnológico y su valorización; 2- Fomentar la investigación aplicada, junto con la cooperación de los grupos y centros de investigación UPC y su coordinación interna; 3- Atender a las necesidades tecnológicas de las empresas para facilitar un servicio multidisciplinar y apoyar a la innovación empresarial; y 4- Aumentar el reconocimiento social de la transferencia de tecnología y de valorización de la UPC a partir de la excelencia tecnológica. Los valores del *UPC Technology Center* se basan en la eficiencia y sostenibilidad, la credibilidad y confianza, el compromiso con el cliente, la participación y cooperación, el prestigio y proyección social, y finalmente el compromiso con la seguridad y la salud de las personas.

6. Conclusiones

El conocimiento de la realidad del entorno de innovación de la ciudad de Barcelona, sus experiencias, su aprendizaje, sus éxitos y sus fracasos, han enriquecido el trabajo de investigación que lleva a cabo la red CECIAC. Se han visitado algunos de los centros de más importancia en innovación tecnológica, social y sostenible de la ciudad de Barcelona, se han fomentado los vínculos con los diferentes participantes en torno a un proyecto I+D que encara su año final, decidiendo los acuerdos y estrategias finales, y el plan de trabajo para 2023.

La innovación tecnológica es una de las formas más relevantes de producir innovaciones gracias a la enorme capacidad de la tecnología

y el conocimiento para producir diferenciación y ventajas competitivas a medio plazo, pero también a corto plazo. Por ello, estudiar las trayectorias de circulación y transferencia del conocimiento en los entornos reales donde se producen, ayuda a CECIAC a comprender su funcionamiento y a tener éxito en la consecución de su objetivo principal de fortalecer capacidades de gestión de innovación tecnológica, con impacto social, en las universidades que forman parte del proyecto, potenciando la interacción con actores públicos, empresariales y de la sociedad civil regional para propiciar economía de alta productividad para desarrollo social inclusivo y sostenible.

Referencias

- 22@Network Barcelona. *7 universidades de Latinoamérica visitan el distrito 22@*. Recuperado de <https://www.22network.net/> (visita octubre 2022).
- Ayuntamiento de Barcelona. Área de Ecología, Urbanismo, Infraestructuras y Movilidad. (2022): *Plan de Movilidad Urbana*. Recuperado de <https://www.barcelona.cat/mobilitat/es/quienes-somos/plan-de-movilidad-urbana> (visita octubre 2022).
- Barcelona Activa. (2016): *Cibernàrium*. Recuperado de <https://cibernarium.barcelonactiva.cat> (visita octubre 2022).
- Barcelona Activa. (2022): *Barcelona Deep Tech Node*. Recuperado de <https://www.barcelonactiva.cat/es/deeptechnode> (visita octubre 2022).
- Barcelona Activa. (2022): *IT Academy*. Recuperado de <https://www.barcelonactiva.cat/es/itacademy> (visita octubre 2022).
- CIT UPC. Universidad Politècnica de Catalunya. *UPC Technology Center* (2022): Recuperado de <https://cit.upc.edu/ca/> (visita octubre 2022).
- CYTED, Programa iberoamericano para la ciencia y el desarrollo. (2022): *Proyectos ciencia y sociedad*. Recuperado de <http://www.cyted.org/es/content/proyectos-cienc%C3%ADa-y-sociedad> (visita octubre 2022).
- CYTED, Programa iberoamericano para la ciencia y el desarrollo. (2022): *Construcción y Evaluación de Capacidades Innovadoras del Sector Académico*. Recuperado de <https://www.cyted.org/es/ceciac> (visita octubre 2022).
- Farrerons, O; García, A. (2020): *Red internacional para la Gestión de Innovación y Tecnología en Nuevos Emprendimientos (GESIT)*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/178727> (visita octubre 2022).

- Farrerons, O; García, A; Hernández, E. (2021): CECIAC. *Proyecto para fortalecer las capacidades de gestión para la innovación tecnológica y social de equipos docentes en universidades iberoamericanas*. XI Congrés Internacional de Docència Universitària i Innovació. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/356688> (visita octubre 2022).
- Proyecto Construcción y Evaluación de Capacidades Innovadoras del sector Académico. (2019): Recuperado de <https://futur.upc.edu/23599055> (visita octubre 2022).

AVALUACIÓ DE LES ESTRATÈGIES DE DESENVOLUPAMENT A LLARG TERMINI EN BAIXES EMISSIONS DE GASOS D'EFECTE HIVERNACLE (LT-LEDS) I DEL PRESSUPOST DE CARBONI DELS COMPROMISOS DE NEUTRALITAT DE CARBONI

Clàudia Cruanyes Hernández

Universitat Politècnica de Catalunya (EEBE). Grup de recerca per al Governament del Canvi Climàtic (GGCC)

Bàrbara Sureda Carbonell

Universitat Politècnica de Catalunya (EEBE). Enginyeria Gràfica i Disseny. Grup de recerca per al Governament del Canvi Climàtic (GGCC)

Olga Alcaraz Sendra

Universitat Politècnica de Catalunya (EEBE). Departament de Física. Grup de recerca per al Governament del Canvi Climàtic (GGCC)

Resum

Com a humanitat, tenim la urgent necessitat d'aturar l'escalfament global, i per aconseguir-ho, es requereix assolir emissions netes zero cap a mitjans d'aquest segle. Amb aquesta finalitat, l'Acord de París insta els països a formular les seves Estratègies de desenvolupament a llarg termini baixes en emissions de gasos d'efecte hivernacle (LT-LEDS). Aquest article revisa les LT-LEDS enviades fins a l'agost de 2022 a la UNFCCC.

En primer lloc, es realitza un anàlisi de les LT-LEDS. Aquest anàlisi conclou que la informació que inclouen les estratègies s'hauria de millorar. Especialment pel

que fa a la claredat i al seguiment del progrés cap als objectius. També es confirma la manca de referències als principis d'equitat i de Responsabilitats comuns però diferenciades i capacitats respectives (CBDR&RC), que hauria d'emmarcar l'acció climàtica.

En segon lloc, es presenta una estimació del pressupost de carboni que consumiran les Parts que han incorporat objectius de emissions netes zero dins de les seves LT-LEDS. El consum d'aquest grup de Parts, que en total representen el 37 % de la població mundial i el 58 % de les emissions globals, ascendeix a 431 GtCO₂, superant el valor de 400 GtCO₂ corresponents al Pressupost Global de Carboni Restant compatible amb l'objectiu de 1.5 °C.

Abstract

As humanity, we have the urgent need to stop global warming, and to achieve this, reaching net-zero emissions by the middle of this century is required. To this end, the Paris Agreement urges countries to formulate LT-LEDS (Long-Term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies). This article reviews the LT-LEDS submitted up to August 2022 to the UNFCCC.

First, an analysis of the LT-LEDS was carried out. This analysis concludes that the information included in the strategies should be improved. Especially in terms of clarity and monitoring of progress towards the objectives, since it confirms the lack of references to the principles of equity and Common but Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities (CBDR&RC), which should frame climate action.

And secondly, an estimation of the carbon budget to be consumed by the Parties that have incorporated net zero emissions commitments within their LT-LEDS. The consumption of this group of Parties, which in total represent 37 % of the world's population and 58 % of global emissions, amounts to 431 GtCO₂ which exceeds the value of 400 GtCO₂ corresponding to the Remaining Global Carbon Budget compatible with the target of 1.5 °C.

1. Avaluació de les LT-LEDS i estimació del seu pressupost de carboni

1.1. Anàlisi de la qualitat de les LT-LEDS presentades a la UNFCCC

Fins el mes d'agost de 2022, 51 Parts havien comunicat les seves LT-LEDS a la Secretaria de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (UNFCCC). Les emissions d'aquestes 51 Parts representen el 58 % de les emissions globals. La taula 1 mostra la llista de les Parts que han presentat LT-LEDS, així com la naturalesa dels seus compromisos de mitigació.

País	Objectiu quantificat d'emissions dins la seva LT-LEDS	Emissions netes zero
Andorra	Neutralitat de carboni al 2050	√
Austràlia	Emissions netes zero al 2050	√
Àustria	Neutralitat de carboni al 2050	√
Bèlgica	Formada per tres estratègies regionals (Valona, neutralitat de carboni al 2050; Flandes, reducció d'emissions un 85 % respecte al nivell de 2005 per l'any 2050; Brussel·les-capital, apropar-se a neutralitat de carboni al 2050)	
Benín	Evitar 12 MtCO ₂ e i segrestar 163 MtCO ₂ e per l'any 2030	
Cambodja	Neutralitat de carboni al 2050	√
Canada	80 % de reducció respecte al nivell de 2005 per l'any 2050	
Xile	Neutralitat de carboni al 2050	√
Xina	Neutralitat abans de 2060	√
Colòmbia	Neutralitat de carboni al 2050	√

Costa Rica	Emissions netes zero l'any 2050	√
República Checa	80 % de reducció respecte al nivell de 1990 per l'any 2050, equivalent a 39,1 MtCO _{2e}	
Dinamarca	Neutralitat climàtica com a molt tard al 2050	√
Unió Europea (EU27)	Neutralitat climàtica al 2050	√
Fiji	Emissions netes zero l'any 2050	√
Finlàndia	Neutralitat de carboni per al 2035 i emissions netes negatives a partir de llavors	√
France	Neutralitat de carboni al 2050	√
Alemanya	Reducció del 80-95 % respecte al nivell del 1990 per al 2050 amb l'objectiu d'assolir la "neutralitat de GEH per al 2050".	
Guatemala	59 % de reducció de l'escenari de referència (BAU) per l'any 2050	
Hongria	Neutralitat climàtica al 2050	√
Islàndia	Neutralitat climàtica al 2040	√
Indonèsia	Arribar a 540 MtCO _{2e} al 2050, i intentar emissions netes zero al 2060.	
Japó	Neutralitat de carboni al 2050	√
Letònia	Neutralitat climàtica al 2050	√
Lituània	Neutralitat climàtica al 2050	√
Luxemburg	Neutralitat climàtica al 2050	√
Malta	Neutralitat de carboni al 2050	√
Illes Marshall	Emissions netes zero com a tard l'any 2050	√
Mèxic	50 % de reducció respecte al nivell de 1990 per l'any 2050	

Marroc	Neutralitat climàtica aquest segle	
Nepal	Emissions netes zero l'any 2045	√
Holanda	95 % de reducció respecte al nivell de 1990 per l'any 2050	
Nova Zelanda	Cero emissions netes de gasos de llarga vida per 2050 i reducció de 24-47 % de metà per 2050	√
Nigèria	50 % de reducció per l'any 2050 y emissions netes zero entre 2050 i 2070	√
Macedònia del Nord	72 % de reducció respecte al nivell de 1990 per l'any 2050	
Noruega	80-95 % de reducció respecte al nivell de 1990 per l'any 2050	
Portugal	Neutralitat de carboni al 2050	√
República de Corea	Neutralitat de carboni al 2050	√
Singapur	Zero emissions netes tan aviat com sigui possible dins la segona meitat de segle	
Eslovàquia	Neutralitat climàtica al 2050	√
Eslovènia	Neutralitat climàtica al 2050	√
Sudàfrica	A partir de l'any 2036, les emissions disminuiran en termes absoluts amb un límit inferior de 212 MtCO _{2e} i un límit superior de 428 MtCO _{2e}	
Espanya	Neutralitat climàtica al 2050	√
Suècia	Emissions netes zero l'any 2045	√
Suïssa	Emissions netes zero l'any 2050	√
Tailàndia	Emissions netes zero "abans possible dins la segona meitat d'aquest segle"	
Portugal	Neutralitat de carboni al 2050	√

República de Corea	Neutralitat de carboni al 2050	√
Singapur	Zero emissions netes tan aviat com sigui possible dins la segona meitat de segle	
Eslovàquia	Neutralitat climàtica al 2050	√
Eslovènia	Neutralitat climàtica al 2050	√
Sudàfrica	A partir de l'any 2036, les emissions disminuiran en termes absoluts amb un límit inferior de 212 MtCO _{2e} i un límit superior de 428 MtCO _{2e}	
Espanya	Neutralitat climàtica al 2050	√
Suècia	Emissions netes zero l'any 2045	√
Suïssa	Emissions netes zero l'any 2050	√
Tailàndia	Emissions netes zero "abans possible dins la segona meitat d'aquest segle"	
Tonga	No està indicat	
Ucraïna	31-34 % de reducció respecte als nivells de 1990 per l'any 2050	
Regne Unit	Emissions netes zero l'any 2050	√
Estats Units	Emissions netes zero l'any 2050	√
Uruguai	Neutralitat de carboni al 2050	√

Taula 1. Llista de les Parts que han presentat LT-LEDS a la UNFCCC (UNFCCC)

De les 51 Parts que han presentat LT-LEDS a la UNFCCC, només 34 han incorporat objectius d'emissions netes zero, 22 Parts de l'Annex I (de les quals 14 pertanyen a la UE-27) i 12 Parts No-Annex I.

Tenint en compte que no hi ha cap directriu establerta que les Parts puguin seguir a l'hora de desenvolupar les LT-LEDS, totes les Parts

han presentat estratègies molt diferents entre si, amb compromisos i enfocaments diferents. La diversitat de les LT-LEDS presentades ha fet que la comparació d'aquestes estratègies fos molt costosa. És per això que l'ús de la llista de verificació "Quality Assurance Checklist: For Long-Term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies" (WRI i UNDP 2021) ha estat molt útil per a comparar aquestes estratègies.

La Checklist consta d'un total de 80 preguntes que s'han respost per a totes les LT-LEDS presentades per tal d'analitzar la qualitat de cadascuna.

Cal destacar que, en mitjana, s'ha incorporat dins les LT-LEDS el 60 % de la informació necessària per desenvolupar una estratègia qualitativa. Paral·lelament, en mitjana, faltava un 34 % de la informació que s'hauria d'haver inclòs, i al voltant d'un 6 % de la informació no estava presentada de forma clara. En base a aquests números es pot concloure que la informació presentada dins de les LT-LEDS es pot millorar.

Per una banda, s'observa que França i Fiji han estat els països que en general han proporcionat més informació en les seves LT-LEDS. Això permet afirmar que la qualitat de les seves estratègies sigui la més alta de totes les presentades. D'altra banda, la LT-LEDS que menys informació ha aportat és la de la UE27. Això podria ser perquè s'espera que cada un dels països de la UE27 proporcioni una estratègia més detallada i que aquesta LT-LEDS només resumeixi els compromisos dels països de la UE27 per assolir la neutralitat climàtica l'any 2050. Finalment, la LT-LEDS d'Austràlia ha estat la menys precisa.

Austràlia, Bèlgica, Canadà, Xina, República Txeca, la UE27, Guatemala, Lituània, els Països Baixos, Noruega, Espanya i els Estats Units han inclòs menys del 50 % de la informació indicada a la Checklist. És especialment preocupant que dins d'aquest grup de països hi hagi els tres principals països emissors (Xina, EUA i la UE27) i també un bon nombre de països de l'Annex I. Els països de l'Annex I estan més industrialitzats i, per tant, s'espera que prenguin la iniciativa per reduir les seves emissions de GEH i ajudin als països no inclosos dins l'Annex I a superar les amenaces i els efectes negatius del canvi climàtic.

Per contra, Dinamarca, Fiji, França, Nova Zelanda i Macedònia del Nord són les Parts que han proporcionat més del 80 % de la informació indicada a la Checklist. Això vol dir que van presentar les LT-LEDS d'una major qualitat.

L'ús d'una llista de verificació per a l'anàlisi d'aquestes estratègies ha pogut retratar els punts forts i febles de cadascuna de les LT-LEDS. Recursos com aquesta llista de preguntes s'haurien d'utilitzar més àmpliament per al desenvolupament d'una estratègia o per a la seva revisió.

1.2. Consum estimat del pressupost de carboni de les Parts que han presentat objectius d'emissions netes zero dins les LT-LEDS

El concepte de pressupost de carboni és una eina valuosa per establir objectius d'emissions netes zero i per fer un seguiment del progrés cap a ells (Dickau et al. 2022). En el segon apartat d'aquest treball s'ha estimat el pressupost de carboni que serà consumit fins assolir les emissions netes zero per part de les 20 Parts que van presentar aquests

compromisos (12 països No-Annex I i 8 països Annex I, inclosa la UE27 en el seu conjunt). En el cas de la UE27 i dels països de la Unió Europea que van presentar aquests compromisos, només s'ha analitzat l'estratègia conjunta de la UE27 que pretén assolir la neutralitat climàtica l'any 2050.

Per fer aquests càlculs, s'ha traçat una trajectòria lineal entre l'últim any amb dades històriques disponibles, el 2019, i l'any objectiu del 2030. Després, s'ha fet el mateix per al període des del 2030 fins a l'any en què el país s'ha compromès a assolir les emissions netes zero.

La Taula 2 mostra el pressupost de carboni que s'estima que consumeixen les 20 Parts estudiades fins a assolir les emissions netes zero de CO₂. El consum total d'aquestes 20 Parts ascendeix a 431 GtCO₂, superant el valor de 400 GtCO₂ que correspon al Pressupost Global de Carboni Restant (RGCB) compatible amb l'objectiu d'1.5 °C (67 % de probabilitat) recollit a l'AR6 (IPCC 2021). El fet que els compromisos de només 20 Parts, que en total representen el 37 % de la població mundial, ja superin el RGCB, posa de manifest fins a quin punt aquests compromisos no s'han formulat per assolir amb èxit l'objectiu de l'1.5 °C.

Les emissions acumulades per càpita permeten fer comparacions entre països amb diferents volums de població. S'observen diferències importants en el pressupost de carboni per càpita que impliquen els compromisos analitzats (Taula 3). Només el pressupost de carboni de 7 països (Cambodja, Colòmbia, Costa Rica, Fiji, les Illes Marshall, el Nepal i Nigèria) està per sota dels 1,47 tCO₂ anuals que correspondrien a cada persona si aquest pressupost es distribuís seguin el principi d'igualtat (Taula 2). Serà un gran repte per a països com Cambodja, que es troben entre els països menys desenvolupats ja que tenen grans

reptes pendents, per tal de dotar la seva població d'infraestructures per al desenvolupament, mantenint al mateix temps les emissions per càpita tan baixes. Cal tenir en compte que països com Cambodja tenen el 36 % de la població en situació de pobresa extrema, només el 26 % de la població utilitza una font d'aigua potable segura, i tan sols 29 % de la població disposa de combustibles i tecnologia nets. (UN-DESA).

Parts	Pressupost de carboni des de 2020 a emissions zero de CO ₂ (GtCO ₂)	Pressupost de carboni per càpita des de 2020 a emissions netes zero de CO ₂ (tCO ₂)	Emissions acumulades per càpita 1990-2019 (tCO ₂)
Total de les 20 Parts	431	3.91	7.24
Total de les 8 Parts Annex I	135	4.25	12.06
Total de les 12 Parts No Annex I	295	3.77	4.42
Pressupost global de carboni restant	400	1.47	4.462

Taula 2. Estimació del pressupost de carboni total consumit per les 20 Parts, en conjunt, que han presentat objectius de emissions netes zero, diferenciant el conjunt de països Annex I i No-Annex I. Font: elaboració pròpia.

Quan es comparen les emissions per càpita del període històric 1990-2019 amb el pressupost de carboni per càpita del 2020 per assolir emissions netes zero de CO₂, és evident que països amb una gran responsabilitat històrica, com Austràlia, la UE27, Islàndia, el Japó, Nova Zelanda, la República de Corea, el Regne Unit i els Estats Units, amb emissions històriques per càpita molt elevades, es plantegen esforços per reduir les emissions de manera considerable durant les properes dècades tot i que cap d'ells aconsegueix limitar-les per sota d'1,47 tCO₂ per càpita.

Parts	Grup	Pressupost de carboni per càpita des de 2020 a emissions netes zero de CO ₂ (tCO ₂)	Emissions acumulades per càpita 1990-2019 (tCO ₂)
Andorra	No-Annex I	4.16	7.16
Austràlia	Annex I	5.61	17.7
Cambodja	No-Annex I	0.23	0.35
Xile	No-Annex I	2.62	3.78
Xina	No-Annex I	4.82	4.82
Colòmbia	No-Annex I	0.81	1.55
Costa Rica	No-Annex I	0.52	1.44
Unió Europea (EU27)	Annex I	3.08	8.11
Fiji	No-Annex I	0.32	1.43
Islàndia	Annex I	4.22	10.3
Japó	Annex I	4.21	9.66
Illes Marshall	No-Annex I	0.88	1.89
Nepal	No-Annex I	0.36	0.19
Nova Zelanda	Annex I	2.93	8.14
Nigèria	No-Annex I	0.25	0.74
República de Corea	No-Annex I	3.73	10.5
Suïza	Annex I	1.83	5.71
Regne Unit	Annex I	2.18	8.56
Estats Units	Annex I	6.08	19.5
Uruguai	No-Annex I	1.98	1.88

Taula 3. Estimació del pressupost de carboni consumit per cada una de les Parts que han presentat objectius de emissions netes zero en les seves LT-LEDS.

Font: elaboració pròpia.

Aquesta observació coincideix en tots els 8 països de l'Annex I del grup de Parts estudiat. Aquest conjunt va des d'emissions històriques per càpita de 12,06 tCO₂ fins a un pressupost de carboni per càpita de 4,25 tCO₂ des del 2020 fins a assolir els seus objectius d'emissions netes zero (Taula 2). Aquestes reduccions estarien d'acord amb el que estableix l'article 4.4 de l'Acord de París quan diu que "els països desenvolupats haurien de continuar prenent el lideratge adoptant objectius absoluts de reducció d'emissions per a tota l'economia", però no aprovarien un anàlisi fet a la llum de l'equitat i del principi de CBDR&RC que segons el mateix acord hauria d'emmarcar l'acció climàtica (United Nations 2015). Un pressupost de carboni per càpita de 4,25 tCO₂ està lluny de complir els criteris d'equitat. En base a la igualtat, el pressupost de carboni d'aquests països hauria d'estar al voltant d'1,47 tCO₂ anuals. I encara hauria de ser més baix si es té en compte la seva alta responsabilitat històrica, i la seva capacitat econòmica i tecnològica. D'altra banda, el conjunt dels 12 països No-Annex I estudiats, on el pes de la Xina és decisiu, també redueix les seves emissions per càpita, però en molt menor mesura, passant de 4,42 tCO₂ per càpita durant el període històric a 3,77 tCO₂ des del 2020 fins a assolir els seus objectius d'emissions netes zero.

Malgrat els esforços que implicarà dur a terme aquestes reduccions d'emissions, encara no són suficients per posar el món en el bon camí per assolir l'objectiu d'1.5 °C, tot i donant temps i espai de carboni als països menys desenvolupats. En la mateixa línia que d'altres estudis publicats (Matthews i Wynes 2022), l'anàlisi presentat revela que les reduccions d'emissions actuals estan dissenyades seguint la inèrcia del sistema econòmic i no comporten els canvis estructurals necessaris per assolir l'objectiu de mitigació de l'Acord de París.

Referències

- Dickau M, Matthews HD, Tokarska KB (2022). The Role of Remaining Carbon Budgets and Net-Zero CO₂ Targets in Climate Mitigation Policy. *Curr Clim Chang Reports* 2: <https://doi.org/10.1007/s40641-022-00184-8>
- IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021. The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ Press
- Matthews HD, Wynes S (2022). Current global efforts are insufficient to limit warming to 1.5 °C. *Science* (80-) 376:1404–1409. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABO3378>
- UN-DESA SDG Country Profiles. <https://unstats.un.org/sdgs/dataportal/countryprofiles/KHM>. Accessed 14 Aug 2022
- UNFCCC Long-term strategies portal | UNFCCC. <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies>. Accessed 7 Jul 2022b
- United Nations (2015). Paris Agreement. 21st Conf. Parties 3
- WRI, UNDP (2021). Quality Assurance Checklist For Long-Term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies.

TREBALLS FINALS D'ESTUDI DEL DEPARTAMENT D'ENGINYERIA GRÀFICA I DE DISSENY A LA SECCIÓ EEBE

Oscar Farrerons Vidal

EEBE. Departament d'Enginyeria Gràfica i Disseny

Resum

Es presenta una petita recerca estadística de Treballs Final d'Estudi (TFE) dirigits pels professors de la secció del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) en el període 2017-2022. S'indiquen els rànquings dels professors amb més TFE dirigits. Es destaca els percentatges de TFE de la secció respecte al total del departament i de la EEBE. S'analitzen les àrees temàtiques principals en que han estat agrupats els TFE, l'idioma en que han estat presentats, la seva condició d'accés (si és oberta, o restringida), i els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) que tenen assignats, si és el cas. Aquestes dades es comparen respecte a les mateixes dades del total de l'EEBE, i de la resta del departament, cosa que permet treure algunes conclusions per tal de millorar el conjunt de la tasca docent de direcció de TFE a la secció DEGD-EEBE.

Abstract

A small statistical study of Final Thesis (TFE) directed by the professors of the Graphic Engineering and Design Department at the Barcelona Est School of Engineering (EEBE) in the period 2017- 2022. The rankings of the teachers with the most directed TFE are indicated. The percentages of the TFE of the section with respect to the total of the department and of the EEBE are highlighted. The main thematic areas in which the TFE have been grouped are analyzed, the language in which they have been presented, their access condition (if open or restricted), and the Sustainable Development Goals they have been assigned, if is the case. These data are compared with the same data from the total of the EEBE, which allows some conclusions to be drawn in order to improve the overall teaching task of TFE management in the DEGD-EEBE section.

1. Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

L'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) inicià el seu funcionament el curs acadèmic 2016-2017 en el Campus Diagonal-Besòs de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). La fundació de la nova EEBE va tenir lloc agrupant les activitats de docència i de recerca de l'antiga Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona (EUETIB), que estava ubicada a l'històric recinte de l'Escola Industrial (carrer Urgell de Barcelona); i també de part de la docència i recerca vinculada als àmbits de l'enginyeria química i de materials de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), del campus Sud de la UPC.

Actualment l'EEBE compta amb més de 3.500 estudiants i 420 professors repartits entre 7 graus¹ (a més de dobles graus interns, BiO-

¹ Mecànica, Electricitat, Electrònica Industrial i Automàtica, Química, Biomèdica, Energia, Materials.

CFIS, i internacionals) i 5 màsters² (a més de 2 en extinció). L'EEBE és el nucli principal del campus Diagonal-Besòs, situat prop del mar, entre Barcelona i Sant Adrià de Besòs. És un dels centres amb més percentatge d'hores de tallers i laboratoris, opcions de pràctiques i projectes de les associacions d'estudiants; i també és el primer campus de la UPC amb capacitat i resultats de recerca (Farran, 2022).

2. Objectiu

Aquest treball pretén fer una senzilla recerca bibliomètrica dels Treballs Fi d'Estudis (TFE) dirigits pels professors de la secció del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) a l'EEBE, des del curs 2016-17 fins al 2021-22 (inclou els presentats en convocatòria ampliada a l'octubre 2022). Entre els TFE es distingeixen el Treballs Final de Grau (TFG) i el Treballs Finals de Màster (TFM), en aquest cas sempre que siguin TFM oficials, encara que no tinguin tota la seva docència a l'EEBE.

La finalitat és posar en relleu una part de tasca docent, no sempre prou valorada. Les dades, totes de caràcter públic, s'han obtingut del portal de la producció docent del professorat de la UPC, anomenat Aprèn. És important destacar que pot haver algun TFE que no quedi recollit a Aprèn per algun motiu singular, però seran pocs casos, que no modificaran les dades generals aquí presentades. Tots els TFE avaluats en el present treball es poden trobar enunciats al portal, independentment que siguin amb accés obert o d'accés restringit (ja sigui per decisió de l'autor, o per acord de confidencialitat).

² Chemical Engineering - Smart Chemical Factories, Interdisciplinary & Innovative Engineering, Advanced Materials Science and Engineering, Ciencia e Ingeniería Avanzada de Materiales, Recerca en Enginyeria Mecànica.

3. Direcció de TFE

La secció EEBE del DEGD té en l'actualitat una vintena llarga de professors, entre PDI de dedicació complerta i professors associats. Evidentment aquest treball recull els TFE de tots els professors, inclòs també dels docents que ja estan jubilats però que van dirigir algun TFE en el període d'estudi (des de l'inici de l'EEBE fins final curs 21-22). L'estudi ha pogut detectar fins a 17 professors³ que han dirigit com a mínim un TFE en el període d'estudi, amb un total de 223 TFG i

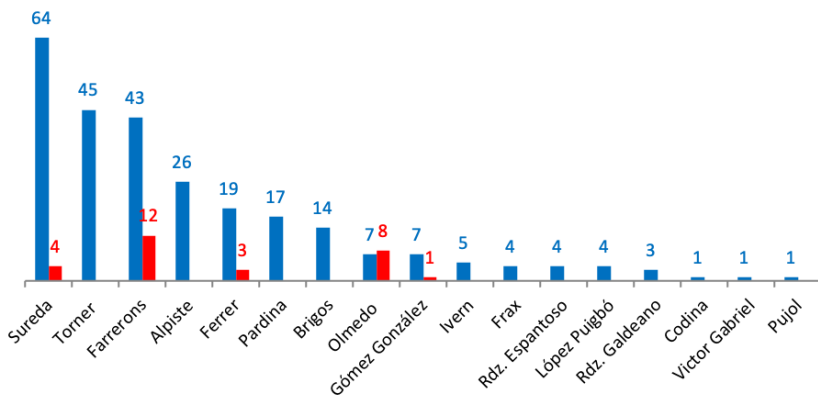


Figura 1. TFM (vermell) i TFG (blau) dirigits per professor.

Font: Elaboració pròpia.

28 TFM. La Figura 1 ens mostra els TFG (blau) i TFM (vermell) agrupats per professor, de manera decreixent, ordenats per quantitat més alta de TFG dirigits.

³ Bàrbara Sureda, Jordi Torner, Oscar Farrerons, Francesc Alpiste, Carles Ferrer, Josep Pardina, Noelia Olmedo, Miguel Brigos, Sergio Gómez González, Jordi Ivern, Joel Frax, José Luís Rodríguez Espantoso, Albert López Puigbó, Xavier Rodríguez Galdeano, Enric Codina, Pedro Victor Gabriel, Anna Pujol.

Cal tenir en compte que d'aquests 223 TFG dirigits pels 17 professors, 42 han estat codirigits per algun altre professor de la pròpia secció, i aquest és el motiu pel que si sumem les columnes dels TFG de tots els professors el resultat és 265 (en comptes dels citats 223). Això no passa en els TFM, ja que tots han estat dirigits de manera individual.

Si analitzem el conjunt de TFE dirigits per professor (un total de 251, sumant TFG i TFM), ordenats per columnes decreixents, obtindrem la Figura 2.

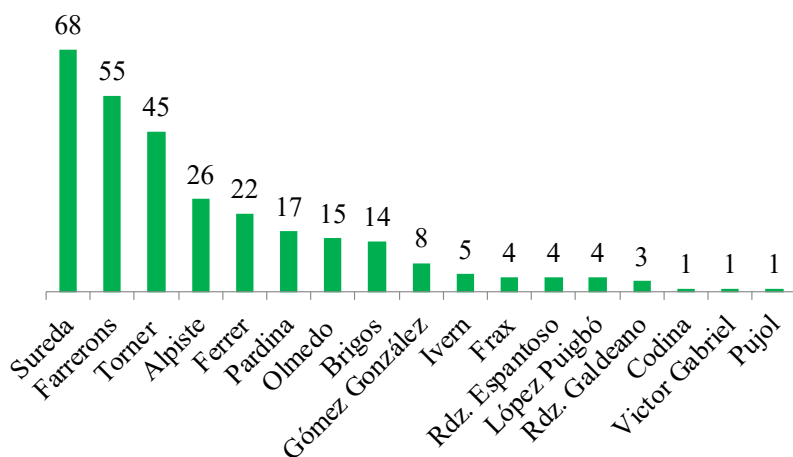


Figura 2. Número de TFE dirigits per professor.

Font: Elaboració pròpia.

El portal Aprèn agrupa les dades per any natural i no per curs acadèmic, però això no és cap problema. El TFE dirigits al curs 2016-17 van ser presentats, en quadrimestre de tardor al gener 2017 (en convocatòria extraordinària al maig 2017), i en quadrimestre de primavera al juny 2017 (en convocatòria extraordinària a l'octubre

2017); de manera que tots els TFE del curs 2016-17 estan agrupats a l'any natural 2017, i així successivament.

La distribució anual dels TFG i TFM de tota la secció EEBE del DEGD és molt homogènia, i no hi ha cap any que presenti un nombre molt diferenciat respecte a la resta, tal i com es pot observar a la Figura 3.

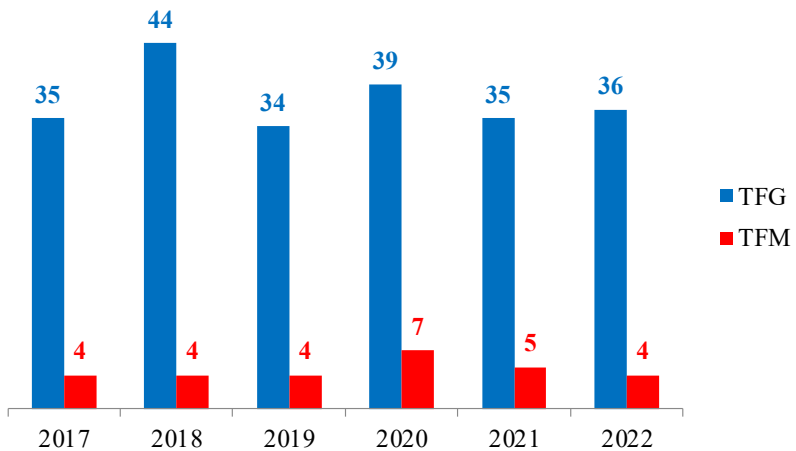


Figura 3. Número de TFG (blau) i TFM (vermell) per any.

Font: Elaboració pròpia.

4. Marc general comparatiu

Aquests 251 TFE ¿són molts o són pocs en comparació amb el total dels dirigits pel conjunt del DEGD? i respecte del conjunt de l'EEBE?

Per respondre a aquestes dues preguntes també s'han buscat al portal Aprèn els TFE dirigits en el període en qüestió (curs 16-17 a 21-22), on hem pogut veure, filtrant els resultats per departaments i escoles, i sumant els totals per anys, que el conjunt de professors del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny han dirigit 706 TFG i 109 TFM. Per altra banda, el conjunt de professors de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est han dirigit 2.522 TFG i 283 TFM. Podem visualitzar les dades de manera comparativa a la Taula 1.

	TFG	TFM	TFE
Conjunt DEGD	706	109	815
Conjunt EEBE	2522	283	2805
Secció EGD-EEBE	223	28	251

Taula 1. TFG i TFM dirigits al Departament EGD, a l'EEBE, i a la secció EGD-EEBE, entre els anys 2017 i 2022.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades portal Aprèn.

Si volem fer un petit exercici comparatiu, tenint en compte les limitacions i els possibles errors de les dades extretes d'Aprèn, podem deduir que el 31 % dels TFG dirigits al DEGD durant el període d'estudi ho han estat per professors de la secció EEBE, mentre que un 26 % dels TFM totals del DEGD ho han estat per part dels professors d'aquesta secció EEBE. Visualment es pot veure a la Figura 4.



Figura 4. Esquerra: percentatge de TFG dirigits a la Secció (vermell) respecte al total del DEGD (blau). Dreta: Percentatge de TFM dirigits a la Secció (vermell) respecte al total DEGD (blau).

Font: Elaboració pròpia.



Figura 5. Esquerra: percentatge de TFG dirigits a la secció (vermell) respecte al total EEBE (verd). Dreta: Percentatge de TFM dirigits a la secció (vermell) respecte al total EEBE (verd).

Font: elaboració pròpia.

De la mateixa manera, podem concloure que els professors del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny, han dirigit el 9 % dels TFG del total de treballs a l'EEBE, i el 10 % del TFM, tal i com es pot apreciar a la Figura 5.

5. Àrees temàtiques dels TFE

Les àrees temàtiques que engloben els 251 TFE fruit del nostre estudi són 17 (sempre segons els criteris i les dades aparegudes al portal Aprèn). En la Figura 6 es pot veure les diverses àrees en que s'han dirigit TFG i TFM, i el nombre de TFE en cada una d'elles. També es pot apreciar que la meitat dels TFE dirigits corresponen a l'àrea temàtica d'enginyeria mecànica.

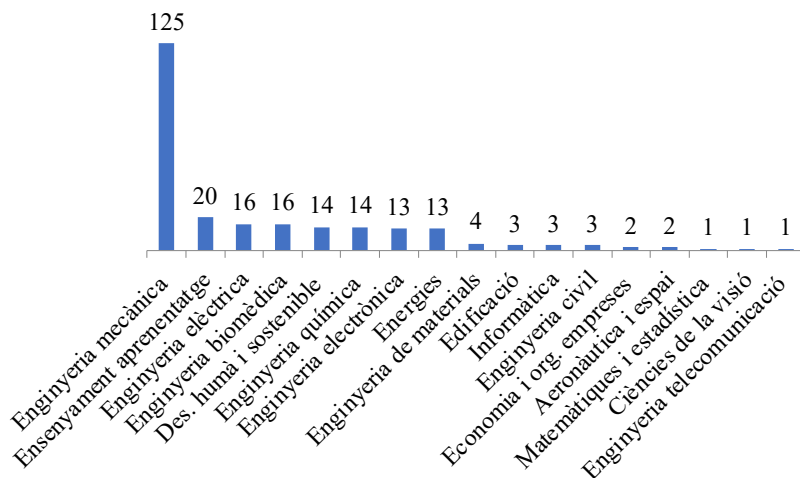


Figura 6. Nombre de TFE per àrees temàtiques.

Font: Elaboració pròpia.

El fet que la gran majoria dels TFE tinguin per àrea temàtica l'enginyeria mecànica es pot explicar per dues raons bàsiques. La primera és que la principal assignatura que ofereix la secció és "Expressió Gràfica" que, tot i que és troncal, és d'especial interès pels enginyers mecànics; a més que hi ha altres assignatures de la secció

DEGD-EEBE orientades exclusivament als estudiants d'enginyeria mecànica. El segon motiu és que els estudiants d'enginyeria mecànica són els més nombrosos de l'EEBE (un total de 235 places del total de 750 places de nova oferta, aproximadament un terç del total de l'oferta del conjunt dels graus).

6. Idioma dels TFE

Del total de 251 TFE estudiats a la secció DEGD-EEBE, 118 consten escrits en català, 99 en castellà i 34 en anglès. No es mostren diferències apreciables en els percentatges entre els TFG i TFM en quan a idioma.

L'idioma dels TFE del total de l'EEBE és molt diferent en funció que es tracti de TFG o TFM. Entre els TFG, 1165 han estat escrits en català, 1036 en castellà i 415 en anglès; mentre que respecte al TFM, 19 han estat escrits en català, 101 en castellà i 184 en anglès.

Podem veure les proporcions de cada idioma del TFE en la següent Figura 7. A l'esquerra idioma dels TFE de la secció DEGD i a la dreta del total de l'EEBE.



Figura 7. Proporció de TFE escrits en català (blau), castellà (vermell) i anglès (verd). Esquerra Secció, dreta total EEBE.

Font: Elaboració pròpia.

Al portal Aprèn no es documenta cap TFE (dels 251 corresponents a la nostra mostra d'estudi) escrit en altre idioma. En el conjunt del departament EGD tampoc no hi ha cap TFE escrit en altre idioma. Com a nota curiosa en canvi, si mirem els total de TFE dirigits a l'EEBE si que trobem altres idiomes a més del català, castellà i anglès; en concret podem veure 37 TFG en francès i 2 TFG en portuguès (cap TFM), el que representa percentualment un 1.47 % i 0.08 % del total dels TFG dirigits i presentats a l'EEBE. En la pàgina d'ofertes de TFE per part dels professors si que destaca, com a mínim, una oferta d'un TFG per ser escrit en francès en la secció DEGD-EEBE⁴.

7. Condicions d'accés

Quan l'estudiant penja el seu TFE al portal Aprèn, pot decidir les condicions d'accés al seu treball. Bàsicament determinar si és obert o, en canvi, si està restringit, que pot ser per decisió pròpia de l'autor, o per acord de confidencialitat. En el cas dels 251 TFE que atenyen aquest estudi, s'ha observat que 117 són oberts, 58 restringits per decisió de l'autor, i 76 restringits per acord de confidencialitat. Si mirem les mateixes dades al conjunt de l'EEBE, entre els anys 2017 i 2022, observem 1807 TFE d'accés obert, 850 restringits per decisió de l'autor, i 295 restringits per acord de confidencialitat.

Podem veure les dades de manera percentual i comparades entre la secció DEGD (esquerra) i el conjunt de l'EEBE (dreta) a la Figura 8.

⁴ <https://eebe.upc.edu/ca/estudis/treball-de-fi-destudis/ofertes-tfe/?search>

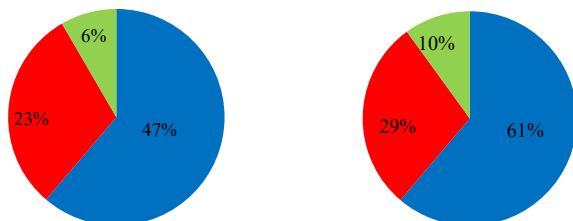


Figura 8. Proporción de TFE segons condició d'accés. Blau = Obert, vermell = Restringit per decisió autor, verd = Restringit per acord de confidencialitat. Esquerra Secció, dreta conjunt EEBE.

Font: Elaboració pròpia.

8. Objectius de desenvolupament sostenible

Una altre aspecte que s'ha considerat interessant estudiar és veure quins dels continguts dels TFE de la secció DEGD-EEBE estan relacionats amb algun dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS), o al menys que així han estat definits a l'hora de penjar els TFE a Aprèn. En aquest cas destaca que, del total de 251 TFE dirigits pels professors de la secció, sols 51 (el 20 %) tenen algun dels ODS assignats, i que es reparteixen entre 9 dels ODS (Ciutats i comunitats sostenibles; Acció per al clima; Energia assequible i no contaminant; Indústria, innovació i infraestructura, Producció i consum responsable; Vida submarina; Salut i Benestar; Reducció de les desigualtats; Educació de qualitat). En la Figura 9 es veuen els ODS relacionats amb els TFG de la secció.

Si volem comparar amb el conjunt dels TFE de l'EEBE, veiem que aquí sols un 12 % dels TFG tenen associat algun dels ODS (323 dels 2805 TFE del període 2017-2022). Curiosament, entre els 9 ODS amb més associacions de TFE, estan els mateixos menys un de la secció DEGD, i

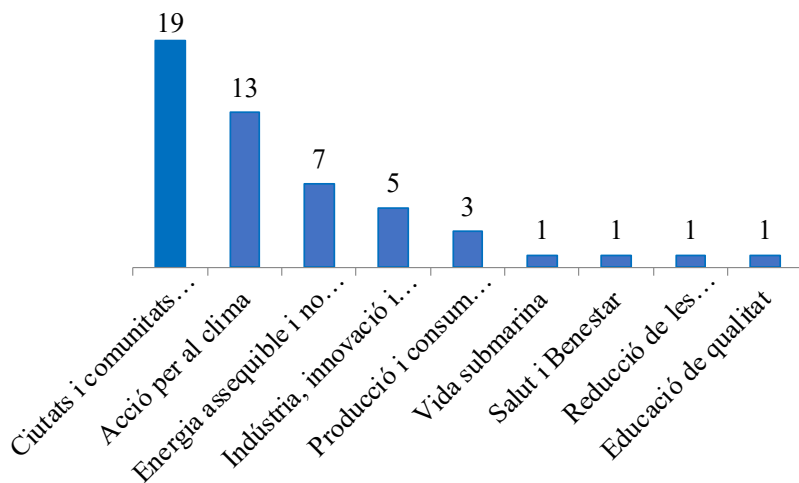


Figura 9. Quantitat de TFE de la secció DEGD-EEBE relacionats amb algun dels ODS.
Font: Elaboració pròpia.

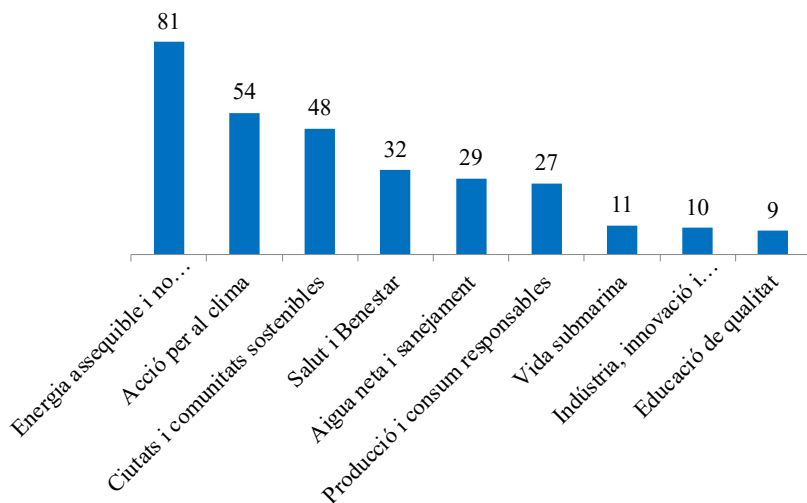


Figura 10. Quantitat de TFE del total de l'EEBE relacionats amb els 9 primers ODS.
Font: Elaboració pròpia.

a més en aquest top-10 hi entra l'ODS "Aigua neta i Sanejament", tot i que ordenats de manera lleugerament diferent, tal i com es pot veure a la Figura 10.

9. Conclusions

L'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) és una escola jove, que va iniciar la seva tasca docent al curs 2016-17, tot i que amb el bagatge de la centenària EUETIB, provinent de l'Escola Industrial, i la recerca i empenya de part de l'ETSEIB del campus Sud. Per aquest motiu, la direcció de Treballs Finals d'Estudi (TFE) ha estat apreciable des de l'inici de l'EEBE.

La secció del Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) a l'EEBE ha participat de manera notable en el conjunt de TFE dirigits a l'EEBE, amb un total de 223 TFG i 28 TFM, suposant un 26 % dels TFG i un 10 % del TFM del total de l'EEBE.

L'aportació de la secció també és quantitativament apreciable en el conjunt del DEGD, amb un total del 31 % dels TFG i un 26 % dels TFM del DEGD entre els anys 2017 i 2022. Els càlculs d'aquest article s'han portat a terme a partir de les dades públiques del portal de producció docent del professorat de la UPC (Aprèn) i, tot i que pot ser que alguns TFE no estiguin recollits al portal per alguna raó puntual, es pot considerar els percentatges calculats com bastant reals.

Els 251 TFE dirigits a la secció DEGD-EEBE es reparteixen entre fins a 17 professors, el que es pot considerar molt positiu, com a mostra d'una tasca docent diversa. Lògicament, per la dedicació dels professors a diferents tasques de docència, recerca, gestió, i transferència de coneixement; i també per l'existència de professorat

divers, entre PDI permanent o associat, la quantitat de TFE dirigida pels diferents professors és molt diferent segons el cas.

Els 251 TFE dirigits per la secció DEGD-EEBE han estat portats a terme en fins a 17 àrees temàtiques diferents, però destacant-se en la meitat dels casos en l'enginyeria mecànica, com no podia ser de cap altre manera per la dedicació docent de les principals matèries de la secció (i també per la quantitat d'alumnes matriculats en el grau d'enginyeria mecànica).

L'idioma principal dels TFE de la secció DEGD-EEBE ha estat el català, seguit de prop pel castellà, i en un 14 % d'anglès. En el total de TFE dirigits a l'EEBE, català i castellà també són majoritaris, amb un 21 % d'anglès.

Gairebé la meitat dels TFE dirigits pels professors DEGD-EEBE (47 %) han estat penjats al portal Aprèn amb accés obert, mentre que al total de l'EEBE aquest percentatge arriba a ser significativament més elevat (fins el 61 %).

Una petita part del TFE de la secció DEGD-EEBE (20 %) han estat vinculats a algun dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS), tot i que són quasi el doble del percentatge del total de TFE en el conjunt de l'EEBE que s'hi ha vinculat (sols un 12 %). De totes maneres, la majoria dels ODS en que estan vinculats els TFE dirigits coincideixen tant en la secció DEGD com en el conjunt de l'EEBE.

Aquest article demostra que la tasca docent de la secció del DEGD a l'EEBE, en quan a direcció de TFE, és significativament apreciable, diversa, i de qualitat, i que manté una participació percentual notable respecte al conjunt del departament i a l'EEBE. El coneixement de les dades agrupades i comparades en aquesta comunicació, pot permetre

a la direcció de la secció DEGD-EEBE, i també a la direcció del departament, prendre decisions per millorar i potenciar la direcció de TFE, i també posar de relleu aquesta part de la tasca docent del professorat.

Referències

- Universitat Politècnica de Catalunya (2022). APRÈN. Portal de la producció docent del professorat de la UPC. <https://apren.upc.edu/ca>
- Farran, A. (2022). Entrevista. Fulls d'Enginyeria. Enginyers Industrials de Catalunya. <https://www.fullsdenginyeria.cat/adriana-farran-volem-ser-lescola-de-referencia-en-lenginyeria-del-futur>
- Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (2022). <https://eebe.upc.edu/ca>
- Gabinet de Planificació Avaluació i Qualitat (2022). Dades estadístiques i de gestió. <https://gpaq.upc.edu/lldades/centres.asp?codiCentre=295&codiTitulacioDursi=GRAU00000315&nomCentre=Escola%20d%27Enginyeria%20de%20Barcelona%20Est&nomTitulacio=Grau%20en%20Enginyeria%20Mec%20C3%A0nica&cursIniciTitulacio=2009-2010&numCredits=240&tipusEnsenyament=Grau&codiFC>

APRENDIZAJE ACTIVO CON PBL EN EL DISEÑO INSTRUCCIONAL DE *EXPRESSIÓ GRÀFICA*

Noelia Olmedo-Torre

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Marta Peña

Departament de Matemàtiques

Miquel Soriano Ibañez

Departament d'Enginyeria Telemàtica

Anna Pujol Ferran

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Resumen

Numerosos estudios respaldan los efectos positivos del aprendizaje activo en la mejora de la motivación y las actitudes del alumnado en el aprendizaje global y la reducción de las diferencias en las calificaciones. Esta investigación tiene como objetivo aumentar nuestra comprensión sobre los efectos del aprendizaje activo, aplicando metodologías PBL, en el alumnado para aumentar la motivación en varios grupos de clase de una asignatura de *Expressió Gràfica*. Para ello se realiza una comparación cuantitativa de sus calificaciones. Los resultados muestran que el desarrollo de las actividades didácticas propuestas, además de promover el pensamiento creativo e innovador, ha contribuido a la mejora en la visualización de modelos geométricos y la comprensión de enunciados y soluciones.

Palabras clave: PBL; Motivación; Aprendizaje activo; Ingeniería Gráfica; Evaluación

1. Marco teòric

Entre las metodologías activas de enseñanza más validadas, el PBL (Problem-Based Learning) es una metodología de aprendizaje activo enfocada a la participación e implicación del estudiante en la construcción de su propio conocimiento. Es un método interdisciplinario con un enfoque innovador con origen en las teorías constructivistas y centrado en el trabajo, el aprendizaje, la investigación y la reflexión que los estudiantes siguen de forma independiente, o en grupo, para llegar a la solución de un problema planteado por el profesorado, y cuya resolución supondrá el desarrollo y adquisición de determinadas competencias. Estas habilidades pueden ser trasladadas posteriormente al ámbito profesional, ya que uno de los principales objetivos del método es que el estudiante aprenda a resolver un problema profesional (Granado-Alcón et al., 2020).

De estas metodologías centradas en el estudiante, destacan el Aprendizaje Basado en Problemas (en adelante PrBL) y el Aprendizaje Basado en Proyectos (en adelante PjBL). Su uso en cursos de ingeniería ha mostrado notables ventajas para motivar e involucrar a los estudiantes en situaciones reales de trabajo, favoreciendo la resolución de problemas, y desarrollando el pensamiento crítico y las habilidades profesionales (Othman et al., 2017), mejorar la comprensión conceptual y las percepciones de aprendizaje (Yadav et al., 2011) y el rendimiento (Dağyar & Demirel, 2015), (Gijbels et al., 2005), (Leary et al., 2013).

Objetivos del estudio y preguntas de investigación.

- ¿Cuáles son los efectos de implementar estrategias PBL en el desempeño del alumnado (motivación y aprendizaje) en la asignatura Expressió Gràfica (EG) durante varios años en su aplicación?
- ¿Estos diseños instruccionales mejoran la evaluación de los estudiantes?

Para responder empíricamente a estas interrogantes y con el fin de aportar conocimiento a la implementación de estrategias que ayuden al estudiantado a mejorar su rendimiento académico se realizó un estudio experimental en el que se utilizó como instrumento de medición una comparación cuantitativa del aprendizaje de los estudiantes en diferentes años académicos. Son las notas finales, notas de Laboratorio y notas del Proyecto de 13 grupos de clase que han cursado esta asignatura durante cinco cursos académicos (2015 a 2019).

Contexto del estudio

La recopilación de datos durante los años académicos 2015 a 2019 permitirá evaluar y discutir la evolución del curso a lo largo de los años a través del aprendizaje y la evaluación de los estudiantes. Esta asignatura obligatoria, de seis créditos ECTS (European Credit Transfer System), se imparte durante el primer y segundo cuatrimestre con 14 sesiones cada cuatrimestre. Los grupos de clase estaban formados por un máximo de 30/32 estudiantes en jornadas de mañana (M) o tarde (T) y participan todas las especialidades (Ingeniería Eléctrica, Mecánica, Química, Electrónica Industrial, Biomedicina, Energía y Materiales) de la Escola d'Enginyeria de

Barcelona Est (EEBE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Se resuelven varios (2 a 3) ejercicios por clase utilizando la herramienta CAD Solidworks Education Edition 2020®. Cada uno de los ejercicios son especialmente importantes para comprender y llevar a cabo el Proyecto que se debe entregar al final del curso. Se introducen dos herramientas para ayudar al alumnado a realizarlos: ejercicios en vídeo para la resolución de las piezas y tutoriales del software.

2. Metodología

Aplicación del PrBL

En la aplicación de esta metodología es necesario incentivar al grupo de clase. Deben participar activamente en la resolución de problemas, deben ser capaces de identificar soluciones y aplicarlas al problema. A su vez, el docente debe tener el rol de guía o asesor. Los ejercicios realizados en el Laboratorio (que aumentan en complejidad a medida que avanza el curso) ayudan a comprender las diferentes etapas que componen el Proyecto. Los problemas que se han diseñado a lo largo del curso son problemas abiertos. Esto les ayuda a tomar la iniciativa en su aprendizaje y los motiva a aprender por su cuenta. También se les anima a hacer y aclarar preguntas sobre temas que no entienden. Los tiempos para resolver problemas son limitados (generalmente 1 hora y media). Si la tarea no se completa en clase, se debe entregar durante la semana. Los ejercicios se resuelven individualmente o en grupos dependiendo de su complejidad. En muchos ejercicios en el aula el alumnado forma grupos de trabajo donde se discuten las soluciones e interactúan con el profesorado, quienes brindan

retroalimentación. Esto facilita la interacción, el aprendizaje colaborativo y su aplicación en una variedad de contextos. El docente propone, además de resolver dudas, algunas discusiones en grupo para facilitar la comprensión de los enunciados. Los criterios que se utilizarán para evaluar los ejercicios se exponen mediante una rúbrica previamente creada. La metodología PrBL se aplicó mediante la realización de dos o tres ejercicios por sesión utilizando la herramienta CAD Solidworks Education Edition 2020®.

La Figura 1 muestra diferentes ejercicios propuestos en clase donde se aprecian diferentes complejidades de las piezas del Laboratorio.

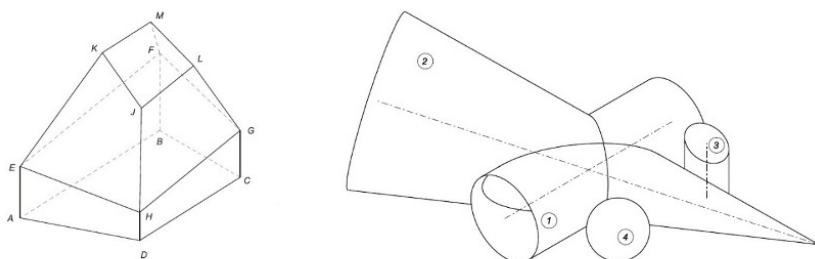


Figura 1. Ejercicios realizados por el alumnado en el Laboratorio.

La Tabla 1 proporciona un resumen sobre los objetivos, alcances, recursos, retroalimentación y evidencias de las sesiones al usar PrBL durante la implementación de esta investigación (2015-19).

Metodología de aprendizaje. Aprendizaje basado en problemas				
Objetivo	Alcance	Recursos	Realimentación	Evidencia / (evaluación)
Modelar en 3D y desarrollar planos basados en axonometría. Aplicar técnicas de representación de geometría espacial y superficial.	Fomenta la realización del proyecto y la comprensión de temas afines no tratados en clase.	Ejercicios semanales, tutoriales multimedia, videos explicativos, presentaciones de resolución paso a paso.	Semanalmente y durante la sesión de clase. Corrección a realizar una semana después del envío. Ejercicios aprobados cuando los profesores aseguran que se ha llegado al último paso de la tutoría.	Resolución de ejercicios de forma individual y en grupo. Tutoriales y vídeos para el aprendizaje basado en ejemplos (CAD1, CAD2 y CAD3)

Tabla 1. Objetivos y descripción de las sesiones utilizando PrBL durante la implementación de esta investigación (2015-19).

Aplicación del PjBL

La metodología PjBL se aplica en la realización y entrega de un Proyecto de ingeniería original. Consiste en un conjunto de diferentes componentes mecánicos realizados por un grupo de tres personas. El Proyecto elegido permite una gran adaptabilidad al entorno y las circunstancias, ya que es de libre elección, pero siempre relacionado con la vida real. Al dejar en manos del alumnado la consecución de los objetivos marcados por la investigación y, apoyándose en la experiencia y la práctica como método educativo, su grado de motivación e implicación es necesariamente mayor que en un entorno de aprendizaje de contenidos más pasivo. La colaboración entre el

grupo es necesaria e imprescindible para asumir los objetivos planteados por esta metodología. El contenido del Proyecto debe incluir un breve informe, dibujos de las piezas a mano alzada, planos impresos con proyecciones multivista de cada pieza, vistas explosionadas con cada pieza identificada, movimientos específicos del conjunto, montajes y una presentación en vídeo. La interacción, correcto movimiento de componentes, planos y montajes serán considerados muy positivamente para la evaluación del Proyecto. La evaluación se realiza mediante una rúbrica. La animación de los mecanismos y la realización de un vídeo se valoran positivamente. La Tabla 2 proporciona un resumen sobre los objetivos, el alcance, los recursos, la retroalimentación y la evidencia de las sesiones en el uso del PjBL.

Metodología de aprendizaje. Aprendizaje basado en proyectos				
Objetivo	Alcance	Recursos	Realimentación	Evidencia / (evaluación)
Aprendizaje basado en proyectos	Aplicar todas las competencias de la materia (específicas y genéricas).	Fomenta el trabajo en grupo y el desarrollo de habilidades de aprendizaje autónomo.	Todo el material disponible en campus virtual generado durante el curso.	Cada 15 días ya mitad de curso. Realimentación es inmediato.

Tabla 2. Objetivos y descripción de la sesión usando PjBL.

Recolección de evidencias

La evaluación de la asignatura EG consta de siete pruebas preestablecidas en las semanas 5, 10 y 14 del curso académico. Dos de estas pruebas son teóricas (TTN y TTG), tres de problemas de Laboratorio (DAO1, DAO2 y DAO3), una de habilidades espaciales y croquizado de piezas (PCA) y una entrega final de un trabajo en grupo (Proyecto).

La nota final se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{NOTA FINAL} = 0.1 \times \text{DAO1} + 0.25 \times \text{DAO2} + 0.15 \times \text{DAO3} + 0.1 \times \text{PCA} + 0.15 \times \text{TTN} + 0.1 \times \text{TTG} + 0.15 \times \text{Proj}$$

Donde: TTN = Test de normativa de dibujo; TTG = Test de geometría espacial; DAO1 = examen parcial; DAO2 = examen parcial; DAO3 = Examen parcial de geometría espacial; PCA = Croquis de piezas y Proj = Proyecto

Las notas recogidas servirán para realizar una comparación cuantitativa en la evolución de la aplicación de estas metodologías y proporcionarán evidencias empíricas para saber si el estudiantado ha aprendido y comprendido los contenidos del curso. Las calificaciones ofrecen información sobre el nivel de desarrollo del aprendizaje y sirven como herramienta para guiarlos y motivarlos. En relación con la metodología PrBL, se tendrán en cuenta las evidencias de Laboratorio de los parciales DAO1, DAO2 y DAO3. En relación con la metodología PjBL, se tendrán en cuenta las notas del Proyecto y las notas finales de la asignatura.

3. Resultados

Aplicación de la metodología PrBL

Las evaluaciones realizadas y descritas en el apartado Metodología nos llevan a obtener evidencias sobre los resultados de aprendizaje del alumnado. Esta evidencia empírica aportará argumentos para saber si finalmente se han conseguido los objetivos propuestos y cómo ha sido la evolución a lo largo del curso académico. En relación a los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología PrBL se pueden observar (Figura 3) las tendencias ascendentes a lo largo de los años de promedios de evaluación de DAO1, DAO2 y DAO3. Estas notas mantienen una media general de 5,9 en DAO1 y DAO2 y una nota de 4,5 en DAO3.

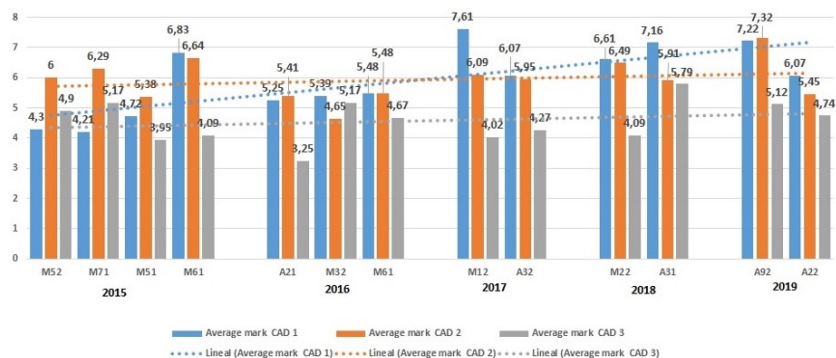


Figura 3. Tendencias en los promedios de evaluación CAD1, CAD2 y CAD3.

Aplicación de la metodología PjBL

La entrega del Proyecto consiste en un trabajo donde se aplican todos los conocimientos adquiridos. Es un proyecto original y consensuado al inicio de las clases. Los proyectos entregados son de diversa índole,

siempre relacionados con campos de la ingeniería y la especialidad que estudian.

La Tabla 3 muestra los promedios de las notas finales de la asignatura y los promedios de las notas de los Proyectos de los diferentes grupos de clase entre 2015 y 2019. El promedio general de las notas finales mantiene un valor por encima de 5 (5,6) y el proyecto un 7,3.

Grupos	Año/Quatrimestre						
	2015				2016		
	1Q		2Q		1Q	2Q	
	M52	M71	M51	M61	A21	M32	M61
Nota media del proyecto	8,2	5,38	7,6	7,88	6	7,65	7,9
Nota media final	6,7	5,4	5,2	5,7	5,1	5,3	6,6

Grupos	Año/Quatrimestre					
	2017		2018		2019	
	1Q	2Q	1Q	2Q	1Q	2Q
	M12	A32	M22	A31	A92	A22
Nota media del proyecto	6,91	7,6	6,65	8,46	8,05	7,41
Nota media final	5,4	5,7	5,2	6	6,2	5,2

Tabla 3. Nota media de proyecto y nota final media de grupos.

4. Discusión

Discusión sobre los resultados de la aplicación de la metodología PrBL

La literatura científica ha avalado a PrBL como una metodología eficaz (Loyens et al., 2008), (Yadav et al., 2011), (Gijbels et al., 2005), (Latasa et al., 2012). Se instruye a los estudiantes para que resuelvan ejercicios y se les anima a descubrir los conocimientos que deben adquirir para avanzar en la resolución de un problema propuesto como lo plantea Dağyar. (Dağyar & Demirel, 2015). A lo largo de las clases, aplicando técnicas de observación (Fuertes, 2011), se reconoce que el alumnado se esfuerza por aprender y son conscientes de la necesidad de establecer un vínculo con el profesorado tal y como afirman (Warnock & Mohammadi-Aragh, 2016), (Sancho et al., 2009). La aplicación de PrBL fomenta la iniciativa en el aprendizaje, los anima a hacer preguntas y los motiva a aprender por sí mismos. Se ha demostrado que las discusiones grupales para comprender y resolver un problema son muy útiles, como lo respalda la literatura científica (Warnock & Mohammadi-Aragh, 2016).

Discusión sobre los resultados de la aplicación de la metodología PjBL

Es la actividad en la que se sienten más cómodos trabajando y en la que más se implican en su propio aprendizaje (Egenrieder, 2010). Esta motivación explica el compromiso con el aprendizaje derivado del interés por los contenidos que se imparten y que aumenta día a día. La evidencia mostrada es el resultado del diseño de estas prácticas educativas en las que se enfatizan las habilidades de aprendizaje por encima de los contenidos y su conexión con el mundo real y se

promueve el aprendizaje a lo largo de la vida y el aprender a aprender (Granado-Alcón et al., 2020).

5. Conclusiones

Las instituciones y el profesorado deben trabajar por un modelo educativo que reconozca la construcción colectiva y plantee problemas y situaciones reales. La implementación y desarrollo del PBL en el futuro debe ser considerado como un método educativo capaz de lograr una transformación social que dé sentido a la libertad de aprender de la mano de los docentes.

El PBL debe confrontar al alumnado hasta los límites de su conocimiento para descubrir, generar ideas y conceptos totalmente nuevos con la ayuda del docente. Necesitan trabajar en un clima de aprendizaje cooperativo, intercambiar ideas y opiniones, argumentar proactivamente sobre lo que otros piensan y estar capacitados para aceptar fallas y errores. Es por ello que las mejores prácticas docentes con PBL deben hacer pensar y razonar al estudiantado con teorías y puntos de vista opuestos, y deben servir para que confronten diferentes opiniones sobre lo que en un principio parecía un tema sencillo. El PBL debe ser una metodología activa socialmente transformadora que desafíe las premisas del problema e introduzca elementos críticos en la discusión. Si queremos que el PBL tenga un impacto significativo, el profesorado debe diseñar planes de estudios que tengan plenamente en cuenta el papel de esta metodología de aprendizaje activo en la comprensión social del proceso de aprendizaje en entornos flexibles, pero bien estructurados. Para lograr altos índices de éxito se requiere una gran inversión de tiempo y alta experiencia, ambos apoyados en la formación en estos campos, que las

universidades deben impartir a sus docentes. Es poco probable que esta propuesta encuentre mucho apoyo dado el clima actual de ahorro de costes en la educación. Si los responsables de las políticas educativas no están realmente preocupados por brindar a la próxima generación una educación real y significativa entonces hay pocas opciones en este asunto.

La planificación de estas metodologías activas de aprendizaje en la actividad académica ha demostrado ser fundamental para definir objetivos de aprendizaje claros y medibles. Con estas prácticas, la adquisición de conocimientos y habilidades se vuelve más eficiente, eficaz y atractiva. También es necesaria la incorporación de la tecnología audiovisual en las aulas, con nuevos materiales didácticos y una revisión periódica de la aplicación y eficacia de estas metodologías. Se requiere que los docentes estén preparados para desempeñar un rol formativo de calidad donde deben ser capaces de reevaluar sus metodologías de enseñanza para adaptarse a estos cambios, con menos clases magistrales y más actividades que promuevan habilidades y actitudes.

Las universidades están obligadas a revisar sus métodos de enseñanza y sus prácticas educativas y deben ser capaces de responder a los desafíos centrados en el alumnado. Las administraciones y la propia universidad deben apoyar la implantación de estas prácticas y se debe dotar de herramientas al profesorado más sensible a la innovación docente y preocupado por mejorar la formación universitaria. Dirigir la educación en ingeniería en esta dirección requerirá liderazgo educativo y más investigación. La ciencia, la tecnología y la ingeniería deben estar en primera fila para solucionar los problemas de las instituciones educativas y los gobiernos.

Referencias

- Dağyar, M., & Demirel, M. (2015). Effects of problem-based learning on academic achievement: A meta-analysis study. *Eğitim ve Bilim*, 40(181), 139–174. <https://doi.org/10.15390/EB.2015.4429>
- Egenrieder, J. (2010). *Facilitating Student Autonomy in Project-Based Learning to Foster Interest and Resilience in STEM Education and STEM Careers*. Washington Academy of Sciences. http://www.bobpearlman.org/BestPractices/PBL_Research.pdf
- Fuertes, T. (2011). La observación de las prácticas educativas como elemento de evaluación y de mejora de la calidad en la formación inicial y continua del profesorado. Observation of educational practices as elements of evaluation and improvement of quality in the initial an... *Revista de Docencia Universitaria*, 9(3), 237–258. <http://red-u.net/redu/files/journals/1/articles/248/public/248-647-1-PB.pdf> <https://doi.org/10.4995/redu.2011.11228>
- Gijbels, D., Dochy, F., Van Den Bossche, P., & Segers, M. (2005). Effects of problem-based learning: A meta-analysis from the angle of assessment. *Review of Educational Research*, 75(1), 27–61. <https://doi.org/10.3102/00346543075001027>
- Granado-Alcón, M., Gómez-Baya, D., Herrera-Gutiérrez, E., Vélez-Toral, M., Alonso-Martín, P., & Teresa Martínez-Frutos, M. (2020). Project-Based Learning and the Acquisition of Competencies and Knowledge Transfer in Higher Education. *Sustainability*, 12(10062), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su122310062>
- Latasa, I., Lozano, P., & Ocerinjauregi, N. (2012). Aprendizaje basado en problemas en currículos tradicionales: Beneficios e inconvenientes. *Formación Universitaria*, 5(5), 15–26. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062012000500003>
- Leary, H., Walker, A., Shelton, B., & Fitt, M. (2013). Exploring the relationships between tutor background, tutor training, and student learning: A problem-based learning meta-analysis. *The Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, Leary, H.,(7(1)), 40–66. <https://doi.org/doi.org/10.7771/1541-5015.1331>
- Loyens, S. M. M., Magda, J., & Rikers, R. M. J. P. (2008). Self-directed learning in problem-based learning and its relationships with self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20(4), 411–427. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9082-7>
- Othman, H., Mat Daud, K. A., Ewon, U., Mohd Salleh, B., Omar, N. H., Abd Baser, J., Ismail, M. E., & Sulaiman, A. (2017). Engineering Students: Enhancing Employability Skills through PBL. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 203(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/203/1/012024>

- Sancho, P., R. Fuentes-Fernandez, Gomez-Martin, P. P., & Fernandez-Manjon, B. (2009). Applying Multiplayer Role-Based Learning in Engineering Education: Three Case Studies to Analyze the Impact on Students' Performance. *International Journal of Engineering Education*, 25, 665. https://pubman.e-ucm.es/drafts/e-UCM_draft_136.pdf
- Warnock, J. N., & Mohammadi-Aragh, M. J. (2016). Case study: use of problem-based learning to develop students' technical and professional skills. *European Journal of Engineering Education*, 41(2), 142–153. <https://doi.org/10.1080/03043797.2015.1040739>
- Yadav, A., Subedi, D., Lundeberg, M. A., & Bunting, C. F. (2011). Problem-based learning: Influence on students' learning in an electrical engineering course. *Journal of Engineering Education*, 100(2), 253–280. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2011.tb00013.x>

SEGREGACIÓ DE L'ESTUDIANTAT EN ELS GRAUS D'ENGINYERIA

Rosó Baltà-Salvador

Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Marta Peña

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
Departament de Matemàtiques

Noelia Olmedo-Torre

Escola d'Enginyeria Barcelona Est. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Ruoshi Wang

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
Departament de Matemàtiques

Resum

L'estudiantat dels graus d'enginyeria és majoritàriament blanc i masculí, mentre que altres grups com les dones o els estudiants de diferents ètnies i orígens continuen estant infrarepresentats. Aquestes desigualtats sovint comporten diferències en l'experiència acadèmica de l'alumnat i poden ocasionar situacions preocupants com la segregació o l'exclusió dels i les alumnes que no pertanyen al grup predominant. A partir d'una mostra de 602 estudiants matriculats en graus d'enginyeria de la Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC), aquest estudi analitza com es desenvolupen les interaccions entre l'estudiantat. Els resultats indiquen que l'alumnat natiu és menys propens a tenir interaccions amb alumnes de diferents orígens i ètnies, especialment en els entorns fora de les classes, com les activitats extracurriculars, les zones d'oci com la cafeteria, el bar o el menjador i els

treballs en grup. Cal que les institucions d'enginyeria actuïn per incentivar les relacions entre l'alumnat i poder fer front a aquestes situacions de segregació que impedeixen que tot l'estudiantat pugui aprendre en un entorn inclusiu i amb igualtat d'oportunitats.

Paraules clau: diversitat, enginyeria, inclusió, segregació, STEM.

Abstract

The engineering undergraduate student body is predominantly white and male, while other groups such as women or students of different ethnicities and backgrounds continue to be underrepresented. These inequalities often lead to differences in the academic experience of the students and can lead to worrying situations such as segregation or the exclusion of students who do not belong to the predominant group. Based on a sample of 602 students enrolled in engineering degrees at the Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC), this study analyzes how interactions between students develop. The results indicate that native students are less likely to have interactions with students from different backgrounds and ethnicities, especially in non-classroom settings, such as extracurricular activities, leisure areas like the cafeteria, bar or canteen, and group work. Engineering institutions need to act to encourage relationships among students to address these situations of segregation that prevent all students from learning in an inclusive environment with equal opportunities.

1. Introducció

Els campus d'enginyeria són entorns acadèmics on l'alumnat és majoritàriament masculí i blanc (Banchefsky & Park, 2018; Campbell-Montalvo et al., 2022; White & White, 2006). El fet que hi hagi un grup predominant té conseqüències en l'experiència acadèmica i les relacions entre l'estudiantat, especialment per l'alumnat que no forma part d'aquest grup majoritari. Estudis anteriors indiquen que els estudiants de grups infrarepresentats, com aquells nascuts a l'estranger, experimenten nivells més alts d'alienació i prejudicis en els campus d'enginyeria i que perceben l'entorn com a amenaçador i

hostil (Benner et al., 2015; Eccles et al., 2006; Hartman et al., 2019). Aquestes experiències de discriminació i prejudicis en entorns educatius poden provocar la segregació i l'aïllament dels estudiants (Harris & Johnston, 2020; Levin et al., 2006). Els estudiants infrarepresentats o de grups minoritaris poden autosegregar-se en contextos intragrupals més segurs i homogenis per reduir l'experiència negativa i protegir-se de l'entorn discriminatori (Derks et al., 2007; Rose-Redwood & Rose-Redwood, 2013). Per altra banda, també pot ser el grup d'estudiants predominant el que exclouï els estudiants poc representats o que no pertanyen al grup majoritari.

Tot i que la segregació pot fer reduir la percepció de discriminació i prejudici de l'entorn dels estudiants nascuts a l'estranger, ja que només interactuen amb companys del mateix grup o altres minories poc representades, també pot suposar una barrera per a la integració i pot tenir inconvenients rellevants. Tal com s'explica en l'estudi de Levin et al. (2003), quan les persones s'aïllen d'altres grups amb diferents orígens i idees i només es relacionen amb persones amb qui comparteixen opinions i actituds similars, es reforça la creença que els punts de vista del grup són els correctes i els considerats normatius, donant lloc a un major etnocentrisme i fomentant actituds negatives i intolerància envers aquelles persones d'altres grups socials i orígens. A la llarga, això dona lloc a professionals d'enginyeria menys respectuosos amb persones de diferents orígens, ètnies i identitats socials.

Múltiples estudis assenyalen que eliminar la segregació i promoure les interaccions entre l'estudiantat en els estudis universitaris té múltiples beneficis per tots els alumnes. Per exemple, Hussain i Jones (2019) van trobar que les interaccions més diverses entre l'alumnat disminueixen

els efectes negatius de la discriminació. Per altra banda, Hall et al. (2017), van trobar que tenir un grup d'amistats divers en els estudis de Ciència, Tecnologia, Enginyeria i Matemàtiques (STEM) s'associa positivament amb l'autoeficàcia acadèmica dels estudiants i les seves intencions de graduar-se en els estudis STEM.

Quan s'aconsegueix crear un entorn inclusiu, la diversitat té un efecte positiu en nombrosos resultats acadèmics. Diversos estudis han demostrat que els grups de treball heterogenis assoleixen una millor resolució de problemes que els grups homogenis. Això es deu al fet que un grup divers es caracteritza per la varietat en els antecedents, valors, actituds i experiències, fet que promou que l'anàlisi del problema es faci des de diferents perspectives i punts de vista. Aquest fet potencia el pensament crític i crea entorns educatius més rics necessaris per resoldre problemes complexos (Antonio et al., 2004). A més, que els i les estudiants es formin juntament amb estudiants d'altres ètnies i orígens fa que desenvolupin actituds més obertes i respectuoses i una major consciència cultural (Denson & Chang, 2009; Rasoal et al., 2012), habilitats que s'han tornat especialment rellevants en el món globalitzat en què vivim actualment. Per tant, eliminar la segregació dels campus d'enginyeria i reforçar el compromís amb la inclusió, aportarà beneficis a nivell individual i col·lectiu, contribuint a evolucionar cap a una societat més ètica i igualitària.

Malauradament, la investigació sobre la segregació en entorns universitaris d'enginyeria és escassa i la majoria s'ha dut a terme als Estats Units, on la cultura i la variabilitat poblacional són diferents als d'altres regions i, per tant, els resultats poden no ser generalitzables (Benner et al., 2015; Eccles et al., 2006; Hall et al., 2017; Hartman et al., 2019; Hussain & Jones, 2019; Levin et al., 2003).

1.1. Estudi actual

L'estudi actual s'ha dut a terme a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE), de la Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC). La UPC és una universitat pública de recerca i educació superior en els àmbits de l'enginyeria, l'arquitectura, les ciències i la tecnologia (UPC, 2017). Es tracta d'una de les universitats politècniques líders d'Europa i cada any titula aproximadament 3300 estudiants de grau (GPAQ, 2022). L'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) va entrar en funcionament el curs acadèmic 2016-2017 en el Campus Diagonal-Besòs. Actualment, compta amb més de 3.000 estudiants i la seva oferta formativa inclou diferents graus, màsters i programes de doctorat en l'àmbit de l'enginyeria industrial, especialment en les àrees de química, materials, mecànica, elèctrica, electrònica, biomèdica i d'energia (EEBE, 2016).

L'estudi s'ha realitzat mitjançant una enquesta desenvolupada amb Google Forms© la qual han contestat un total de 602 alumnes matriculats en graus d'enginyeria. En relació amb la segregació, s'ha preguntat la freqüència amb què els estudiants es relacionen amb altres estudiants de diferents orígens i ètnies en el campus universitari. També s'ha preguntat en quins entorns es relacionen en una pregunta de selecció múltiple a escollir entre les classes de teoria o pràctiques, les activitats en grup, en activitats extracurriculars fora de classe i en el temps lliure en espais com el bar, la cafeteria o el menjador.

Per analitzar els resultats s'ha categoritzat la mostra en estudiants nadius (aquells nascuts en el país en el qual s'ha dut a terme l'estudi) i estudiants nascuts a l'estranger (aquells nascuts en altres països). Les

diferències entre els grups s'han analitzat utilitzat la prova de khi-quadrat.

2. Resultats

Del total de 602 participants, es van eliminar 4 valors atípics, per la qual cosa la mostra final va consistir en 598 participants. D'aquests, 368 (61,1 %) es van categoritzar com a nadius i 234 (38,9 %) com a estudiants nascuts a l'estranger.

Tal com es pot veure en la Figura 1, els estudiants nascuts a l'estranger són els que més es relacionen amb estudiants de diferents orígens i ètnies. La diferència es pot veure sobretot en aquells que van indicar "moltes vegades" en comparació a aquells que van indicar "mai" o "alguna vegada". Els estudiants nadius són els que van indicar en major proporció les opcions relacionades amb una freqüència menor com "mai" o "alguna vegada", mentre que els estudiants nascuts a l'estranger són els que van indicar amb major proporció l'opció de "moltes vegades". Les diferències observades són significatives ($p = 0.000$).

En analitzar en quines situacions concretes es produeixen aquestes interaccions, els alumnes nascuts a l'estranger van assenyalar amb una proporció significativament més alta haver interactuat amb alumnes d'altres procedències en les activitats en grup ($p = 0.006$), durant el temps lliure ($p = 0.029$), i fora de l'horari de classe en activitats extraescolars ($p = 0.033$) (Figura 2). Les classes van ser l'únic context en què, tot i que un percentatge més elevat d'estudiants nascuts a l'estranger va indicar haver interactuat amb alumnes de diferents orígens i ètnies, la diferència amb els estudiants nadius no va ser significativa.

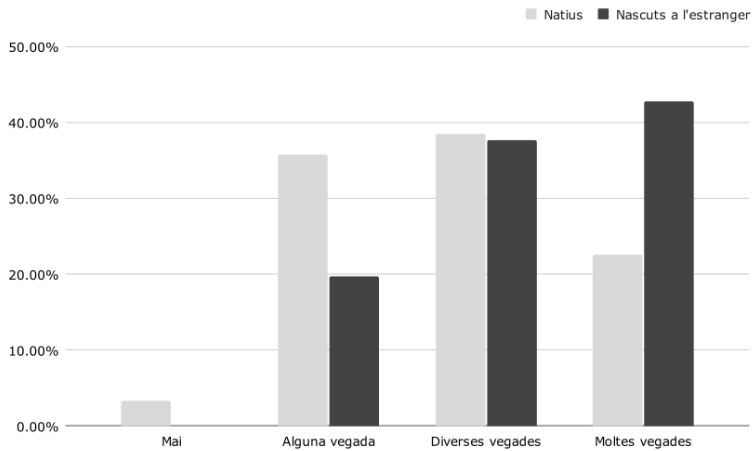


Figura 1. Interaccions entre estudiants.

Font: Elaboració pròpia.

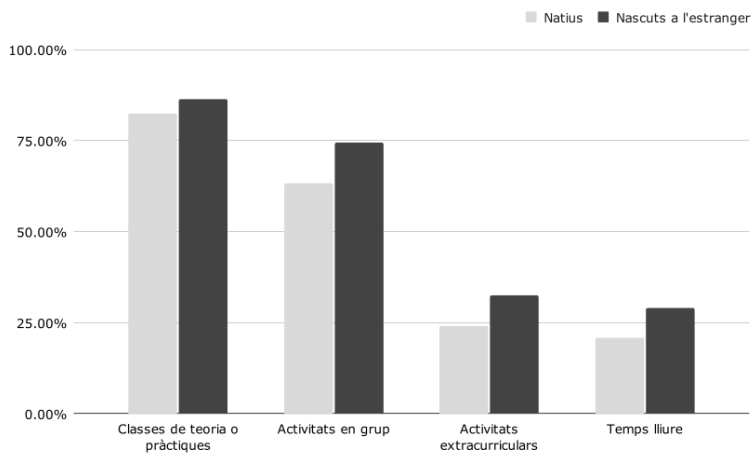


Figura 2. Situacions d'interacció entre estudiants.

Font: Elaboració pròpia.

3. Discussió

Com es pot observar en els resultats obtinguts, s'han trobat diferències significatives entre ambdós grups d'estudiants pel que fa a les interaccions que esdevenen en l'entorn acadèmic. D'aquests resultats se'n poden extreure reflexions interessants que poden ser d'utilitat en els plans d'inclusió de les universitats d'enginyeria.

En línia amb estudis anteriors sobre segregació i alienació als campus universitaris (Levin et al., 2006), els resultats mostren que els estudiants nadius es relacionen en menor mesura amb estudiants d'altres orígens i ètnies que els estudiants nascuts a l'estranger. Aquestes dades suggereixen que la segregació de l'alumnat de grups infrarepresentats està present als campus d'enginyeria i que els estudiants del grup majoritari exclouen o interactuen menys amb aquells estudiants d'altres orígens i ètnies, fet que dificulta la integració dels i les alumnes. A més, aquesta segregació fa que l'alumnat no es pugui beneficiar dels avantatges que suposa un entorn acadèmic divers, com el pensament crític i la millora en la resolució de problemes (Antonio et al., 2004) o el desenvolupament de comportaments més empàtics i respectuosos entre l'estudiantat (Denson & Chang, 2009; Rasoal et al., 2012).

Els resultats d'aquesta investigació amplien els coneixements previs identificant els entorns en què els estudiants interactuen més amb altres estudiants de diferents orígens i ètnies. Segons els resultats, la segregació existeix especialment en les activitats de treball en grup, en les activitats extraescolars i en el temps d'oci en espais com el bar, la cafeteria o el menjador. En aquests entorns és quan l'alumnat natiu és menys propens a interactuar amb alumnes de diferents procedències i ètnies. Per contra, a les classes, les diferències entre els dos grups no

són significatives. Una possible explicació per aquests resultats és que a l'aula, els estudiants han d'interactuar forçadament amb alumnes de diferents orígens, ja que el professorat i les activitats que es duen a terme ho requereixen. Per contra, en entorns on no estan obligats a interactuar i poden decidir amb qui treballar o amb qui ajuntar-se, aquestes interaccions no es produeixen en la mateixa mesura, donant lloc a una major segregació entre l'estudiantat. Per tant, els esforços que es fan dins les classes perquè els estudiants interactuïn entre ells no es traslladen a altres àmbits i espais del campus acadèmic.

És necessari que des de les institucions es reforcin els plans d'inclusió i es duguin a terme accions que promoguin la integració dels estudiants més enllà de l'aula. Algunes de les accions que es poden dur a terme són:

- Formar al professorat i al personal acadèmic sobre la segregació que es produeix en els entorns universitaris. Tal com indica la literatura anterior, la segregació i discriminació moltes vegades està influenciada per estereotips implícits del subconscient, per tant, no sol mostrar-se en accions obertes i pot ser complicat d'identificar (Farkas, 2003). Cal formar al personal acadèmic i donar els recursos necessaris per actuar davant la segregació de l'alumnat, per exemple garantint que el professorat estigui format i disposi d'eines per estructurar les activitats d'aprenentatge cooperatiu dins l'aula.
- Generar conscienciació entre l'estudiantat sobre els valors d'inclusió de la universitat i la no tolerància a l'exclusió o discriminació. També caldrà posar en relleu el valor de la diversitat en el desenvolupament acadèmic, personal i professional (Cronin et al., 2021).

- Dur a terme una revisió pedagògica dels mètodes d'ensenyament que s'utilitzen en les assignatures. Alguns mètodes, com les grans classes magistrals en què l'alumnat assisteix passivament i els coneixements s'avaluen mitjançant exàmens, no fomenten la interacció entre els alumnes i afavoreixen l'aïllament de l'alumnat vulnerable. Per contra, l'aprenentatge actiu basat en problemes en el qual els i les estudiants interactuen entre ells per aprendre els coneixements de l'assignatura, promou la interacció entre estudiants i crea un entorn d'aprenentatge més inclusiu en els que els i les estudiants aprenen uns dels altres i desenvolupen habilitats com l'empatia i el treball en equip (Cronin et al., 2021).
- En línia amb el punt anterior, caldrà tenir en compte la inclusió de l'estudiantat en les diferents activitats i dinàmiques que es proposen a l'aula. Per exemple, el professorat pot definir els grups de treball amb anterioritat per tal d'assegurar que siguin diversos o bé posar en pràctica mètodes per a què els alumnes hagin d'escollir grups diversos, per exemple, havent de fer un grup totalment nou per cada una de les pràctiques o activitats en grup de l'assignatura, sense repetir companys amb els quals ja s'ha treballat. Aquestes dinàmiques fomentaran les interaccions entre estudiants de diferents grups i orígens.
- Per tal que aquests esforços transcendeixin fora de les aules també caldrà actuar en altres punts de l'experiència acadèmica. Per exemple, organitzant activitats extraescolars inclusives, com lligues esportives, sortides culturals o tallers i cursos d'interès, en els que es fomenti la participació de tot l'alumnat afavorint que els i les alumnes també interactuïn en altres entorns més enllà de les classes i així reforçar les seves relacions.

4. Conclusió

Els resultats d'aquest estudi indiquen que encara existeixen situacions de segregació i exclusió en els campus universitaris d'enginyeria, en concret entre l'alumnat natiu que pertany al grup majoritari i els i les alumnes d'altres orígens i ètnies. Aquest fet pot tenir greus conseqüències en el desenvolupament acadèmic i l'experiència educativa de l'estudiantat, especialment per aquells més vulnerables. Aprendre en un entorn que no t'inclou i del qual te'n sents exclòs és molt complicat i pot perjudicar el procés d'aprenentatge i desmotivar els i les alumnes. És necessari que les institucions universitàries d'enginyeria actuïn i plantin cara a la segregació de l'alumnat. En aquesta investigació s'exposen algunes de les accions que es poden dur a terme, com per exemple la formació del professorat per dissenyar activitats d'aprenentatge cooperatiu, la utilització de mètodes d'aprenentatge actiu basat en problemes o les tècniques per assegurar el treball en equips diversos dins l'aula. Per tal que aquests esforços transcendeixin més enllà de les aules, també caldrà promoure les activitats extraescolars amb una visió integradora de tot l'estudiantat.

Agraïments

Les autores volen donar les gràcies a tots els i les estudiants que han participat responent al qüestionari i al professorat que n'ha facilitat la distribució.

Referències

- Antonio, A. L., Chang, M. J., Hakuta, K., Kenny, D. A., & Milem, J. F. (2004). Effects of racial diversity on complex thinking in college students. *Psychological Science*, 15(8), 507–510. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00710.x>
- Banchefsky, S., & Park, B. (2018). Negative gender ideologies and gender-science stereotypes are more pervasive in male-dominated academic disciplines. *Social Sciences*, 7(2), 27. <https://doi.org/10.3390/socsci7020027>
- Benner, A. D., Crosnoe, R., & Eccles, J. S. (2015). Schools, peers, and prejudice in adolescence. *Journal of Research on Adolescence*, 25(1), 173–188. <https://doi.org/10.1111/jora.12106>
- Campbell-Montalvo, R., Kersaint, G., Smith, C. A. S., Puccia, E., Skvoretz, J., Wao, H., Martin, J. P., MacDonald, G., & Lee, R. (2022). How stereotypes and relationships influence women and underrepresented minority students' fit in engineering. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(4), 656–692. <https://doi.org/10.1002/tea.21740>
- Cronin, M. R., Alonzo, S. H., Adamczak, S. K., Baker, D. N., Beltran, R. S., Borker, A. L. et al. (2021). Anti-racist interventions to transform ecology, evolution and conservation biology departments. *Nature Ecology and Evolution*, 5(9), 1213–1223. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01522-z>
- Denson, N., & Chang, M. J. (2009). Racial diversity matters: The impact of diversity-related student engagement and institutional context. *American Educational Research Journal*, 46(2), 322–353. <https://doi.org/10.3102/0002831208323278>
- Derks, B., Van Laar, C., & Ellemers, N. (2007). The beneficial effects of social identity protection on the performance motivation of members of devalued groups. *Social Issues and Policy Review*, 1(1), 217–256. <https://doi.org/10.1111/j.1751-2409.2007.00008.x>
- Eccles, J. S., Wong, C. A., & Peck, S. C. (2006). Ethnicity as a social context for the development of African-American adolescents. *Journal of School Psychology*, 44(5), 407–426. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2006.04.001>
- EEBE. (2016). L'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est. <https://eebe.upc.edu/ca/lescola>
- Farkas, G. (2003). Racial disparities and discrimination in education: What do we know, how do we know it, and what do we need to know? *Teachers College Record*, 105(6), 1119–1146. <https://doi.org/10.1111/1467-9620.00279>
- GPAQ. (2022). Dades estadístiques i de gestió. <https://gpaq.upc.edu/lldades/>
- Hall, A. R., Nishina, A., & Lewis, J. A. (2017). Discrimination, friendship diversity, and STEM-related outcomes for incoming ethnic minority college students. *Journal of Vocational Behavior*, 103, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2017.08.010>

- Harris, R., & Johnston, R. (2020). Ethnic segregation between schools: Is it increasing or decreasing in England? Bristol University Press. <https://doi.org/10.1332/policypress/9781529204780.001.0001>
- Hartman, H., Forin, T., Sukumaran, B., Farrell, S., Bhavsar, P., Jahan, K., Dusseau, R., Bruckerhoff, T., Cole, P., Lezotte, S., Zeppilli, D., & Macey, D. (2019). Strategies for improving diversity and inclusion in an engineering department. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 145(2), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000404](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000404)
- Hussain, M., & Jones, J. M. (2019). Discrimination, diversity, and sense of belonging: Experiences of students of color. *Journal of Diversity in Higher Education*, 14(1), 63–71. <https://doi.org/10.1037/dhe0000117>
- Levin, S., Van Laar, C., & Foote, W. (2006). Ethnic segregation and perceived discrimination in college: Mutual influences and effects on social and academic life. *Journal of Applied Social Psychology*, 36(6), 1471–1501. <https://doi.org/10.1111/j.0021-9029.2006.00068.x>
- Levin, S., van Laar, C., & Sidanius, J. (2003). The effects of ingroup and outgroup friendships on ethnic attitudes in college: A longitudinal study. *Group Processes & Intergroup Relations*, 6(1), 76–92. <https://doi.org/10.1177/1368430203006001013>
- Rasoal, C., Danielsson, H., & Jungert, T. (2012). Empathy among students in engineering programmes. *European Journal of Engineering Education*, 37(5), 427–435. <https://doi.org/10.1080/03043797.2012.708720>
- Rose-Redwood, C. A. R., & Rose-Redwood, R. S. (2013). Self-Segregation or global mixing? Social interactions and the international student experience. *Journal of College Student Development*, 54(4), 413–429. <https://doi.org/10.1353/csd.2013.0062>
- UPC. (2017). La institució. <https://www.upc.edu/ca/la-upc/la-institucio>
- White, M. J., & White, G. B. (2006). Implicit and explicit occupational gender stereotypes. *Sex Roles*, 55(3–4), 259–266. <https://doi.org/10.1007/s11199-006-9078-z>

MEMORIAS DEL PAISAJE NILÓTICO: PROSPECCIÓN, SIMULACIÓN Y RECREACIÓN DE LA INUNDACIÓN ESTACIONAL EN LA ZONA DEL DIQUE DE MIMBAL (MINIA, EGIPTO)

José Ignacio Fiz Fernández

Departament d'Història i Història de l'Art. Universitat Rovira i Virgili

Alfredo Guardo Zabaleta, Alfred Fontanals García

Departament de Mecànica de Fluids

Joan Antoni Lopez Martínez, Noelia Olmedo Torre, Ismail El Madafri

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Resumen

Se verifican y documentan sobre el terreno los datos sobre los sistemas de control hidráulico de inundaciones registrados en la zona del río Nilo. Este trabajo de campo ira acompañado de un estudio sedimentológico de la zona de estudio, la cual comprende las localidades de Marzouk, Mimbab, y Matay (Minia, Egipto). A partir de estos datos arqueológicos y sedimentológicos se crea un sistema de simulación y computación gráfica de alta resolución que refleje la gestión mediante cubetas y canales de irrigación, así como la irrigación perenne del Valle Medio del Nilo. Por otro lado, se pretende recoger y registrar la memoria oral sobre la inundación en el Valle Medio del Nilo en general y en la zona de estudio en particular y el impacto socio-cultural de su desaparición. A partir de los datos de la prospección sobre el terreno, los estudios sedimentológicos, el registro sobre el terreno de la memoria oral, la simulación y la visualización gráfica se quieren analizar los cambios paisajísticos inducidos por las transformaciones del siglo XIX y XX y los diversos procesos de sedimentación, así como sus efectos sobre el propio proceso de inundación y el entorno habitado de las riberas del río.

Palabras clave: Nilo; Egipto; Inundaciones; Prospección; Simulación; Ingeniería Gráfica

1. Introducció

Para obtener un conocimiento detallado del campo egipcio en época antigua y de sus transformaciones es necesario abordar el estudio de cada región con sistemas que permitan integrar los datos histórico-arqueológicos con los datos del medio físico actual y rastrear las trazas de la fisonomía del paisaje antiguo y de sus grandes infraestructuras. La zona seleccionada que da título a este proyecto, sita en el Valle Medio del Nilo, conserva rastros sobre el terreno relativos a su paisaje rural y urbano del período grecorromano y relativos también a la gestión de la inundación en el siglo XIX. La información adquirida junto a la que se recogerá sobre el terreno en esta propuesta será tratada para generar una simulación computacional de la crecida evidenciando sobre el terreno las zonas inundadas y las zonas habitables en el momento culminante de la inundación. El trabajo que proponemos se aborda fundamentalmente con los instrumentos que proporcionó la teledetección, pero se apoya en una actividad de campo con reconocimiento de las infraestructuras hidráulicas detectadas y con control geo arqueológico de los sedimentos asociados. Considerando la importancia crucial de la inundación en la memoria cultural de Egipto, y la fragilidad de la memoria histórica, nos proponemos también poner a prueba una metodología de recolección de testimonios orales sobre los efectos físicos y sociales concretos de las avenidas en la zona estudiada. Dicha información debería ser también una fuente de información acerca de las formas de

circulación y los caminos utilizados en el momento de las aguas altas, un dato relevante para completar el método de simulación propuesto.

Para acotar este trabajo, dentro de la extensa área que comprende el valle Medio del Nilo, hemos establecido una ventana de análisis en una zona situada en el eje que une las localidades de Marzouk, Mimbâl y Matey, a unos 10 km al norte de Samalut y prácticamente en el centro del valle Medio. Esta elección se debe a tener registrada en esta zona, por ejemplo, uno de los once grandes diques de contención de las aguas del Valle Medio del Nillo, citados en la *Description de l'Égypte* (Martin, 1813, 198-199). Este dique, llamado "Membâl" por los geógrafos franceses que acompañaban la expedición de Napoleón, atravesaba desde el Bahr-Youssef el Valle Medio y conectaba con el margen occidental del Nilo. El dique de Mimbâl puede encontrarse también en un plano del Valle Medio, publicado en 1854 por Linant de Bellefonds, en la cartografía publicada entre 1914 y 1939 por el Survey Department of Egypt durante el protectorado británico, en las imágenes del satélite espía Corona de los años 60 del pasado siglo y en las últimas imágenes de satélite Sentinel 2 (Agencia Espacial Europea).

Paralela y complementariamente al desarrollo de los trabajos de prospección arqueológica, proponemos un trabajo de campo de recogida de memoria oral de aquellos que aún pueden dar testimonio de las crecidas del agua y el sistema de la inundación, mantenida hasta 1972, así como las manifestaciones culturales asociadas a esta crecida y ahora perdidas debido al control perenne del caudal del río.

Finalmente, proponemos el uso de técnicas de simulación de dinámica de fluidos y computación gráfica de alto desempeño como herramientas complementarias a la prospección arqueológica. En este

sentido la dinámica de fluidos computacional es una técnica de simulación de flujo de fluidos de amplia implantación en el mundo de la ingeniería, que poco a poco va abriéndose camino en la investigación arqueológica (e.g. García Diego, F.J. et al., 2016; Oetelaar, T. 2016). Esta técnica de simulación ha sido ampliamente utilizada en el estudio de ríos y cuencas hidrográficas (e.g. Silva dos Santos et al., 2019; Bosneagu et al., 2019), incluyendo estudios de modificación del paisaje debido a procesos de sedimentación natural (e.g. Rütther y Olsen, 2007; Keylock et al., 2012). Mediante esta técnica pretendemos reconstruir mediante modelos computacionales los sucesivos sistemas antropizados de inundación, en la zona geográfica propuesta como ventana de análisis.

2. Metodología

La realización de este proyecto implica la colaboración de varias disciplinas en la que la base del trabajo ha de ser arqueológica. Los resultados de las tareas relacionadas con la prospección y documentación sobre el terreno han de alimentar y dar sentido a las tareas relacionadas con los cálculos de fluidos y de representación gráfica. Los resultados han de ir acompañados, ser analizados, discutidos y corregidos con la información recogida y procesada en la tarea dedicada a la memoria oral.

En la metodología del proyecto se han definido las siguientes tareas que describimos a continuación:

T1. Revisión documental

Esta tarea consiste en una revisión de la documentación digitalizada y comprende las trazas de diques y canales observados en cartografía

histórica y en imágenes de satélite, así como la carta arqueológica de los yacimientos situados en el valle medio del Nilo. Esta revisión es necesaria para preparar planos de detalle, donde queden indicados estos datos de la zona de trabajo escogida que serán utilizados en las tareas y en la logística y preparación de la prospección (T2) y en el estudio geomorfológico (T3).

T2. Trabajo de Campo: Prospección y documentación

A partir de los planos de detalle de la zona formada por el eje, representado por el antiguo dique de Membâl, de las localidades de Marzouk, Mimbal y Matey esta tarea estará centrada en la prospección sobre el terreno con la intención de contrastar en campo los datos recogidos sobre trazas de diques y canales registrados.

T3. Trabajo de Campo: Estudio sedimentológico y geomorfológico

Se abordan aquellos datos que permitan reconstruir la evolución geomorfológica del Valle Medio del Nilo en relación con la zona escogida y en especial en el siglo XIX, momento en el cual se produce la transformación del valle Medio.

T4. Trabajo de Campo: Memoria oral

Conscientes de las múltiples dificultades que comporta la recuperación de las memorias orales en general, y particularmente en el caso de este proyecto, se han diseñado una serie de pasos para la sistematización de la aproximación al campo. Los mismos comienzan con la labor de carácter etnográfico y las entrevistas informales (previas) realizada por investigadores locales en el terreno. Este

trabajo permitirá no sólo la ubicación de los/las testigos claves (y posibles), sino también nutrirá de contenidos las guías para las entrevistas que se registrarán, las cuáles, a su vez, estarán informadas por una extensa investigación de archivo, y adicionalmente, por las necesidades de recolectar datos de contraste o ampliación específicos que pudieran necesitar otros/as investigadores/as del proyecto.

T5. Trabajo de Laboratorio: Procesamiento de información obtenida en el trabajo de campo

Usando programas de fotogrametría (Pix4d, Reality Capture, Agisoft Metashape) procederemos, a partir de los vuelos aéreos con dron a la elaboración de la documentación geométrica de estructuras y yacimientos. Se crearán modelos 3D a partir de los cuales generar alzados, plantas y modelos digitales de elevación de alta resolución a partir de los cuales estudiar, por ejemplo, la microtopografía del yacimiento. Se crearán ortofotomapas de alta resolución de aquellos yacimientos verificados sobre el terreno.

T6. Reconstrucción digital de la inundación

Las aplicaciones digitales que permiten generar, visualizar y manipular modelos geométricos ha hecho que se facilite la evocación de espacios y construcciones del pasado respecto a las descripciones literales, gráficos y planos de épocas anteriores. Las recreaciones cuyo único fin es la difusión, con limitado grado de conocimiento histórico, permiten una gran libertad en cuanto a su generación. Si lo que se pretende es construir una reproducción tridimensional virtual de espacios históricos que persiga tanto la transmisión del conocimiento como la utilidad en el desarrollo de la investigación mediante el

planteamiento de hipótesis sobre el modelo, es necesario seguir unos criterios más estrictos con respecto a las fuentes usadas como base de la reconstrucción gráfica, así como de herramientas de simulación avanzada que permitan probar estas hipótesis.

T7. Puesta en común

En esta tarea se realizará la puesta en común de la información y el análisis de los resultados obtenidos en los diversos escenarios de simulación planteados. Estos escenarios, modelizados en 3D, incluirán situaciones en las que se produzcan inundaciones, como las de 1863, 1869 y 1878 y en las que se produjeron desbordamientos y rupturas de diques, siendo la última la más violenta que sus predecesoras, ya que destruyó y arrasó aldeas. Así también se simularán escenarios como el de la inundación de 1946, registrada debido a la gran cantidad de víctimas que se produjeron. Los escenarios, incluirán situaciones contrarias, escasez hídrica del Nilo y el Bahr-Youssef, por lo que veremos que zonas dejaron de quedar anegadas y por tanto no operativas para el cultivo, pudiendo determinar las pérdidas económicas de estas situaciones.

3. Impacto previsto

3.1 Impacto científico-técnico

Nuestra propuesta pretende documentar las estructuras hidráulicas que localicemos en el trabajo de campo, pertenecientes al siglo XIX y dar a conocer a través de publicaciones, de una manera detallada y precisa, como se estructuró la transformación del Nilo en el Valle Medio, como actuaban estas estructuras ante procesos de fuertes

inundaciones o en situación de rigor climático y como reaccionaba el paisaje ante los casos particulares que podían producir.

Otra cuestión vendrá del análisis geomorfológico de la zona del valle Medio. Se proporcionarán resultados en cuanto a la variación sedimentológica y transformación, su relación con las poblaciones de la zona no tan solo desde el siglo XIX, sino en periodos cronológicos precedentes.

Cabe sumar la documentación arqueológica de alta resolución que proporcionarán los vuelos de drone a baja cota y las perspectivas de aportar mayor conocimiento de los mismos. La combinación de esta información, con la memoria oral y las tradiciones recogidas, ya en sí, representarán una novedad metodológica a la cual se sumará el trabajo con la técnica CFD aplicada a la simulación de los diversos procesos de transformación del paisaje. Esta novedad podrá ser aplicable en otros proyectos de otros grupos de investigación orientados a analizar los grandes cursos fluviales.

Por otro lado, la utilización de los recursos de la supercomputación en los cálculos CFD aplicados a la arqueología del paisaje representarán un impacto científico importante, en un ámbito en el cual a nivel nacional solo se ha aplicado en la plataforma IDEPatri, una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) para el intercambio de información arqueológica a través de Internet, desarrollada por el GEPN- AAT (Grupo de Estudio para la Prehistoria del Noroeste Ibérico, Arqueología, Antigüedad y Territorio), en colaboración con el CESGA (Centro de Supercomputación de Galicia) y el CiTIUS (Centro Singular de Investigación en Tecnologías Inteligentes).

Finalmente, la publicación en abierto de los datos de este proyecto, cómo la cartografía histórica recopilada, las fuentes escritas, las

estructuras hidráulicas vaciadas y registradas en el GIS, etc. Los modelos 3D de estructuras como diques documentados en el terreno, los datos estadísticos relativos al Nilo y sus canales dependientes, las capacidades de las cuencas de inundación preparadas para estudios similares y el mapeado del conjunto de sondeos realizados tanto por nuestro equipo como los publicados por las diversas misiones desplazadas serán de gran impacto e interés no solo para nuestro equipo sino para aquellos que en el futuro quieran continuar con otras técnicas y aproximaciones el estudio del paisaje en la antigüedad de Egipto.

3.2. Impacto social y económico

Uno de los impactos sociales del presente proyecto se visualizará a través del documental transmedia, pero también por medio de la socialización a través de redes sociales y publicaciones en diarios y revistas de marcado carácter de difusión, vendrá determinado por reflejar los efectos de la “modernización” iniciada en el siglo XIX en Egipto, pero pareja a la producida en Europa desde la llamada revolución industrial.

Esta presentación ha de provocar reflexión sobre si realmente los grandes proyectos de “modernización” en los que se vieron implicados los grandes imperios del XIX y que transformaron Egipto, mejoraron realmente la vida de sus gentes, o solamente demostraron los logros de las sociedades coloniales para replicar modelos occidentales. La difusión social que proponemos ha de ser también un juego de espejos en el cual nos veamos también reflejados, llevándonos a la reflexión sobre lo que realmente hemos perdido

como sociedad, y sobre lo que significa “mejorar la vida” de los ciudadanos cuando se plantean grandes proyectos de transformación.

Por otro lado, el proyecto se alinea con la importancia y la urgencia social que representa integrar orgánicamente la perspectiva de género en diferentes tipologías de investigación.

A nivel temático, se realizará una tarea de exploración y visibilización del papel de las mujeres en las inundaciones mediante la recogida de testimonios sobre las mismas y su posterior difusión a través del documental transmedia, y a través de las diferentes redes sociales. La parte de la memoria oral recogida se presentará a través de un mapeado visualizable a través de web.

A nivel metodológico se generará un espacio de reflexión sobre las tecnologías utilizadas y las aplicaciones de simulación y visualización, sus posibles sesgos, sus programas intrínsecos, buscando explicitarlos, cuando no también subvertirlos. Los resultados de este proceso también conformarán el documental transmedia con el fin que arribe a un público más amplio, incidiendo en la importancia de producir un conocimiento socializado.

A nivel económico entendemos que la metodología que aquí se aplique ha de redundar en futuros proyectos nacionales e internacionales aplicados a situaciones fluviales de características similares en otros territorios, mediante la elaboración de simulaciones como, por ejemplo, las grandes riadas en la cuenca mediterránea, cuyos efectos son causa de graves pérdidas humanas y económicas.

Convocatoria 2021: Proyectos de Generación de Conocimiento. MINECO.

Tipo: Proyecto R+D+I competitivo. Acrónimo: MESJENET

Código de la entidad financiadora: PID2021-128069NB-I00

Fecha de inicio y fin: 2022-09-01 al 2025-08-31

Entidad desarrolladora: Universitat Rovira i Virgili

Referencias

- Alleaume, G. (1992). Les systèmes hydrauliques de l'Égypte pré-moderne. Itinéraires d'Égypte. *Mélanges offerts au Père Maurice Martin*, 301-322, en particular p.304.
- Bosneagu, R., Scurtu, I. C., Popov, P., Mateescu, R., Dumitrache, L., & Mihailov, M. E. (2019). Hydraulics numerical simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD) method for the Mouth of Sulina Channel. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(4), 2059–2067.
- García Diego, F.J., Scatigno, C., Merello, P., & Bustamante, E. (2016). Preliminary data on CFD modeling to assess the ventilation in an archaeological building. En: *8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation* (actas de congreso). Editorial Universitat Politècnica de València. 2016.
- Keylock, C. J., Constantinescu, G., & Hardy, R.J. (2012). The application of computational fluid dynamics to natural river channels: Eddy resolving versus mean flow approaches. *Geomorphology*, 179, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.006>
- Oetelaar, T. (2016). CFD, thermal environments, and cultural heritage: Two case studies of Roman baths. En: *IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering* (actas de congreso), Florencia, Italia. 2016. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555484>
- Rüther, N., & Olsen, N. R. B. (2007). Modelling free-forming meander evolution in a laboratory channel using three-dimensional computational fluid dynamics. *Geomorphology*, 89(3–4), 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.12.009>
- Silva dos Santos, I. F., Ramirez Camacho, R. G., Tiago Filho, G. L., Barkett Botan, A. C., & Amoeiro Vinent, B. (2019). Energy potential and economic analysis of hydrokinetic turbines implementation in rivers: An approach using numerical predictions (CFD) and experimental data. *Renewable Energy*, 143, 648-662. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.018>

APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS FOR THE AUTOMATIC FOREST FIRE DETECTION

Ismail El madafri

Escola d'Enginyeria Barcelona Est. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Marta Peña

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Departament de Matemàtiques

Noelia Olmedo-Torre

Escola d'Enginyeria Barcelona Est. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Abstract

Throughout the past decade, the development of Artificial Intelligence-based devices for the automatic detection of early stage forest fires has been a growing focus. Computer Vision techniques are well-suited for this problem due to the distinctive visual characteristics of forest fires. The effectiveness of several Artificial Intelligence algorithms in a binary classification problem involving fire/non-fire images was assessed by comparing them using a publicly available dataset. The benchmark dataset was used to both train and evaluate the models. An optimization method was employed to train the Artificial Intelligence algorithms, resulting in a higher performance than that previously achieved by studies on the same dataset.

Keywords: Forest fire detection, Sustainable management, Graphic-based intelligent surveillance, Deep Learning, Transfer Learning, Models optimization.

1. Introduction

Investment in forests offers a variety of solutions to global change, biodiversity decline, and various other environmental issues due to their role in the carbon cycle, natural disaster mitigation and human livelihoods [1-3]. The Intergovernmental Panel on Climate Change Sixth Assessment Report (AR6) confirms that climate change is causing increased stress on forest ecosystems and exacerbating the occurrence and intensity of damaging wildfires [4]. Recent technological advances have led to an increased demand for the automated detection of forest fires at an early stage in order to mitigate their destructive potential and promote a sustainable management of the forested areas. The early warning, remote fire parameter acquisition and monitoring are crucial to wildfire management.

Over the past decade, the development of cloud-based networks of scanning cameras has opened a promising avenue for the technological monitoring of forest fires. The increasing availability of forest data due to advancements in remote sensing platforms have provided a comprehensive range of information from all types of forested areas. For instance, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become a prominent source of forestry data due to their cost-effectiveness, light weight, user-friendliness, and maneuverability, allowing them to carry a variety of sensors that provide high spatial and temporal resolution. The combination of Artificial Intelligence and UAV-based forest fire data has recently seen increased research with the potential for high detection performance at a relatively low cost [5;6].

Deep Learning is a type of Artificial Intelligence that utilizes algorithms composed of interconnected layers of neurons, known as Deep Neural Networks, to extract features from input data. These neurons are trained via the backpropagation technique, which adjusts the parameters of the model, allowing for the development of increasingly complex predictive models [7]. The integration of Convolutional Neural Networks (CNNs), a type of Deep Learning algorithms, has enabled significant progress in Computer Vision classification tasks in the last decade. However, the acquisition of labeled images of forest fires is difficult due to technical and safety constraints, making the majority of DL studies that process forest fire images rely on private datasets sourced from the web, which are usually of limited size [8]. The lack of public benchmarks, which difficulties reproducing the methods, hinders the widespread implementation of these promising models. To ensure accurate progress, the use of common benchmark datasets is necessary to enable the objective comparison of the different approaches [9].

For the above mentioned considerations, the present work conducted experiments using the DeepFire dataset [10], a publicly available dataset for fire/non-fire 3-channel Red-Green-Blue (RGB) image classification, composed of a total of 1900 images of different sizes, with 950 each for fire and non-fire classes. RGB images are attractive for their low cost, ability to capture high resolution, and ease of processing, which are beneficial for a real-world deployment.

2. Objective of the study

This study conducted a comparative analysis of the performance of four state-of-the-art CNN architectures (VGG19 [11], DenseNet121

[12], Inception-ResNet V2 [13] and MobilNet V2 [14]) on a binary-classification task involving fire and non-fire images from the DeepFire dataset. The Transfer Learning technique was employed to train the models, using pre-trained architectures on the ImageNet dataset [15]. This was followed by fine-tuning on the DeepFire dataset, allowing for rapid learning of features from the new dataset without the need for model initialization from scratch. The study applies various Transfer Learning approaches to a comparative analysis in order to analyze the effects of varying the portion of the base network (also called backbone) that is re-trained on the classification performance of models in a forest fire detection task. Previous research on the effects of Transfer Learning on classification performance of Deep Learning models applied on forest fire images has been limited and there has been no such experiment regarding the effect of the number of frozen layers on the whole performance in a forest fire detection task.

3. Materials and methods

3.1. The Dataset

This work used the DeepFire dataset [15], which consists of 1900 RGB images of various forested areas. The fire and non-fire classes each contain 950 images. The training data was split into a training set of 1216 images and a validation set of 304 images, representing 20 % of the total training set, to update the network weights and tune the hyper-parameters, respectively. The same repartition was used for all the considered networks to decrease the randomness effect. The proposed original test dataset was used to evaluate the models' performance on unseen data after the training process (see Table 1.).

Dataset	Training Dataset	Held-out validation Dataset	Test Dataset	Total
Fire	608	152	190	950
Non-fire	608	152	190	950
Total	1012	304	380	1900

Table 1. Fire and non-fire classes for each sub-dataset before data augmentation.

3.2. Transfer Learning scenarios

The effect of varying the number of frozen layers in the backbone models was assessed by exploring five different scenarios, ranging from completely freezing to completely training the backbone network. For each scenario, the non-frozen layers were jointly optimized with newly-stacked fully connected layers on top of them.

Fine-tuning scenario	Portion of frozen layers
Scenario 1	The model base is trained from scratch
Scenario 2	freezing 20 % of the model base
Scenario 3	freezing 50 % of the model base
Scenario 4	freezing 80 % of the model base
Scenario 5	freezing 100 % of the model base

Table 2. Portion of frozen layers for each scenario.

Table 2 provides the proportion of frozen layers for each Transfer Learning scenario.

3.3 Training the models

In this study, the Keras framework with TensorFlow backend was used to implement the Convolutional Neural Networks with GPU support for compiling source code. Images used were originally colored, of varied sizes and had each pixel normalized by dividing by 255. The images were then resized to the default size of each model (224×224 pixels for VGG19, MobileNet V2, and DenseNets architectures, and 299×299 pixels for InceptionResNet V2), with 32-sized mini-batches used to train all networks. The binary cross-entropy (also called the log loss) was employed as the loss function to measure the difference between the network predictions and the labels. Three stochastic optimization methods were tested on each model: Stochastic Gradient Descent (SGD), Root Mean Square Propagation (RMSProp), and Adaptive Moment Estimation (Adam). The training phase of the models was limited to a maximum of 50 epochs, with an early stopping configured with a patience of 5 and a minimum change in the loss of 1e-3. The optimal Learning Rate for each model was determined by testing four different Learning Rates (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}). The combination of the Learning Rate and Optimizer with the highest accuracy on the held-out validation dataset was selected to evaluate it on the test dataset. Additionally, data augmentation was applied to the training dataset through random transformations (random horizontal flipping and random rotation) to make the training set more representative and reduce bias in the images. The BatchNormalization layers within the unfrozen portion of the imported backbone model were kept in inference mode to avoid any interference of the updated non-trainable parameters/weights with the feature maps the model had learned. To reduce the dimensionality of the output matrix from the convolutional layers, a

global average pooling layer was integrated, which computes the average value of each feature map. The output matrix was subsequently flattened into a vector, which was used as an input for the fully connected prediction layer, allowing the model to generate predictions based on the extracted features from the input data. Regularization techniques such as Dropout with a dropout rate of 0.2 were employed, meaning that 20 % of the neurons in each layer were randomly set to zero during each training iteration. To evaluate the overall performance of the models, accuracy, precision, recall and F1-score were computed.

4. Results

The performance of four Convolutional Neural Network architectures (VGG19, DenseNet121, InceptionResNet V2 and MobileNet V2) was evaluated in a comparative study using the DeepFire Benchmark dataset. Results demonstrated that InceptionResNet V2 achieved the highest average score. Further analysis revealed that a half re-trained InceptionResNet V2 base model, trained with Adam and a Learning Rate of 10^{-5} , achieved the highest score (100 %) across all four performance metrics considered. These findings are promising, given the relative representativeness of the DeepFire Benchmark dataset.

Beyond trying to find a highly performing model for the task at hand, this study aimed to assess the hypothesis that varying the portion of the trainable model base in a pre-trained Convolutional Neural Network may have a positive effect on the model's performance. The results of the experimental scenarios 2, 3 and 4 demonstrated an increased classification performance when compared to scenarios 1 and 5. The scores achieved on the test dataset support the conclusions

drawn. The employed optimization method resulted in a higher performance than that previously achieved by studies on the same dataset.

5. Discussion

Intelligent surveillance systems utilizing Deep Learning technology have been proposed as a potential solution for the automated monitoring of forests in order to prevent forest fires. To assess the efficacy of such models, a comparative study was conducted to evaluate various CNN architectures on the DeepFire Benchmark dataset. The study findings showed that the InceptionResNet V2 network achieved the highest average score and the best performing model was found to be a half re-trained InceptionResNet V2 base model (Scenario 3) trained with Adam as an optimizer and 10^{-5} as a Learning Rate. This model achieved a 100 % score in all the four considered performance metrics. The findings of this study provide insights into the use of CNNs for the detection task of forest fire and suggest that such neural networks can be effectively integrated into an inference system for the purpose of forest sustainable monitoring.

Our experiments also evaluated the performance of various frozen layer configurations in Transfer Learning for enhancing the accuracy of classification. The results demonstrated that the employed optimization technique yielded higher performance than that reported in previous studies on the same dataset. Indeed, building upon the results of references [10] and [16], the present study seeks to demonstrate how the optimization of the number of frozen layers can improve the detection performance of the two models that had been proposed.

This work demonstrates the potential of using RGB images and Deep Learning for the practicalization of early forest fire detection systems. The results obtained indicate that the proposed approach could be a viable option for improving forest fire detection with the potential for providing an effective and cost-efficient solution.

References

- [1] Rizvi, A.R., Baig, S., Barrow, E., Kumar, C. (2015). *Synergies between Climate Mitigation and Adaptation in Forest Landscape Restoration*. Gland, Switzerland: IUCN.
- [2] <https://www.worldbank.org/en/topic/forests> Investing in forests (Visited the 27/12/2022)
- [3] <https://sdgs.un.org/topics/forests> United Nations, The Agenda for Sustainable Development, <https://www.un.org/> (Visited the 27/12/2022)
- [4] Seneviratne, S.I. et al. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 1513–1766. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- [5] Bouguettaya, A. et al. (2022). A review on early wildfire detection from unmanned aerial vehicles using deep learning-based computer vision algorithms. *Sign. Proc.*, 190, 108309. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2021.108309>
- [6] Kattenborn, T., Leitloff, J., Schiefer, F., Hinz, S. (2021). Review on Convolutional Neural Networks (CNN) in vegetation remote sensing, *ISPRS. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173, 24-49. ISSN 0924-2716. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.12.010>
- [7] LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature* 521, 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- [8] Diez, Y., Kentsch, S., Fukuda, M., Caceres, M. L. L., Moritake, K., & Cabezas, M. (2021). Deep Learning in Forestry Using UAV-Acquired RGB Data: A Practical Review. *Remote Sensing*, 13(14), 2837. <https://doi.org/10.3390/rs13142837>
- [9] Hutson, M. (2018). Artificial intelligence faces reproducibility crisis. *Science*, 359(6377), 725-726. <https://doi.org/10.1126/science.359.6377.725>
- [10] Khan, A., Hassan, B., Khan, S., Ahmed, R., & Abuassba, A. (2022). DeepFire: A Novel Dataset and Deep Transfer Learning Benchmark for Forest Fire Detection. *Mobile Information Systems*, Article ID 5358359, 14. <https://doi.org/10.1155/2022/5358359>

- [11] Simonyan, K. et al. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv* preprint <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>
- [12] Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L.-C. (2018). Mobilenetv2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *arXiv* preprint arXiv:1801.04381. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.04381>
- [13] Huang G. et al. Densely Connected Convolutional Networks. *arXiv*:1608.0693 <https://doi.org/10.48550/arXiv.1608.06993>
- [14] Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. A. (2016). Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning. *arXiv* preprint <https://doi.org/10.48550/arXiv.1602.07261>
- [15] Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L. -J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database," 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 248-255. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
- [16] Khan, S., & Khan, A. (2022). FFireNet: Deep Learning Based Forest Fire Classification and Detection in Smart Cities. *Symmetry*, 14(10), 2155. <https://doi.org/10.3390/sym14102155>

REVALORITZACIÓ DELS FANGS DE LA INDÚSTRIA PAPERERA PER PRODUIR FILMS PER L'EMBALATGE

Elisabet Quintana, Cristina Valls, M. Blanca Roncero

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group. ESEIAAT.
Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Resum

El 2020 la producció mundial de paper va ser de més de 400 milions de tones (FAO 2022), i es van generar entre 40 i 50 kg de fang sec per tona de paper produït. La composició dels fangs depèn de les matèries primeres utilitzades, del propi procés de preparació de la fibra i del tractament de les aigües residuals. La gestió d'aquest gran volum de residus sòlids s'ha convertit en un greu problema per a la indústria paperera. Abans, els fangs es consideraven un rebuig, i per això durant molts anys s'ha utilitzat com a pràctica l'abocament d'aquests, però actualment aquesta opció s'està descartant i fins i tot s'ha prohibit en alguns països per seriosos riscos ambientals. La directiva europea sobre residus (2008/98/CE) prioritza el reciclatge dels fangs abans que la valorització en camps agrícoles i la recuperació energètica. Per tant, s'han de desenvolupar pràctiques sostenibles més prometedores que impliquin la valorització dels residus mitjançant la recuperació de les fibres que estan infrautilitzades.

El present treball estudia el potencial que ofereixen els fangs secs generats per la indústria paperera, amb l'objectiu de recuperar-ne la matèria primera i produir films d'acetat de cel·lulosa per ser utilitzats com embalatge.

Abstract

The global production of paper was more than 400 million tons in 2020 (FAO 2022), and consequently 40-50 kg of dry sludge was generated per ton of produced paper. The composition of the sludge depends on the raw materials used, the fiber preparation process itself and the treatment of the wastewater. The management of this large volume of solid waste has become a serious problem for the paper industry. In the past, sludge was considered only a waste, and therefore landfilling has been extensively used for a long time, but nowadays this practice tends to be reduced or banned in certain jurisdictions due to serious environmental risks. The European framework directive on waste (2008/98/EC) prioritize to recycle the sludge over energy recovery and disposal in agricultural fields. Therefore, further promising sustainable practices involving the valorization of waste by recovering the fibers that are underutilized and use them as feedstock for other purposes must be developed. The present work studied the potential of reusing sludge generated by paper industry, with the purpose to recover the cellulose fibers and produce cellulose acetate films in order to be used for packaging.

1. Introducció

Es calcula que es generen entre 40 i 50 kg de residus de fang sec per tona de paper produït. Tenint en compte que la producció mundial de paper va ser de més de 400 milions de tones el 2020 (FAO 2022), la gestió d'aquest gran volum de subproductes sòlids s'ha convertit en un gran problema per a la indústria paperera, perquè és costós i les preocupacions ambientals relacionades amb aquesta gestió han rebut una creixent atenció. La composició dels fangs depèn de la matèria primera, el procés de fabricació, els productes químics utilitzats, els productes finals i la tècnica de tractament d'aigües residuals utilitzada (Bajpai & Bajpai, 2015).

Els fangs poden tenir tres tipus d'origen diferent: (i) fangs procedents del destinat de la fibra recuperada; (ii) fangs primaris formats principalment per fibres, fins i càrregues com ara argila i diòxid de

titani (generat a partir de la producció de fibra verge), i (iii) fangs secundaris també anomenats fangs biològics, que és el residu sòlid que queda a la planta de tractament biològic de les aigües residuals (Cpi, 2021).

Antigament, els fangs es consideraven només un residu i l'abocament era el principal mètode d'eliminació, una pràctica que cada vegada més s'està descartant o fins i tot prohibint en determinats països, perquè tot i que tots els abocadors segueixen normes reguladores per tal d'evitar problemes ambientals relacionats amb la contaminació del sòl i les conques hidrogràfiques, existeixen riscos ambientals, amb un impacte potencialment significatiu al sòl i a l'aigua a causa de la presència d'alguns metalls pesants. D'altra banda el transport de fangs és costós pel seu alt contingut d'humitat que varia entre un 30 % i un 80 %, fet que fa que el procés sigui poc sostenible (Faeco). Altres pràctiques de gestió dels fangs inclouen la incineració com a recuperació energètica (que suposa un 19 % del total), ja sigui com a producció de biogàs o bioetanol, l'aplicació en el sòl com a compostatge o modificació orgànica d'aquest, o la integració en materials com la producció de ciment i asfalt o fusta i materials plàstics (Faubert et al., 2016). Altres aplicacions innovadores utilitzen els fangs com a material d'aïllament tèrmic, paper i adhesiu de fusta, mescla seca per al seu ús com a transportadors de pesticides o fertilitzants en l'agricultura i com a material en la construcció (Jaria et al., 2017).

És important tenir en compte que la directiva europea sobre residus (2008/98/CE) estableix una sèrie de recomanacions per a una correcta gestió d'aquests, on prioritza el reciclatge dels fangs en comptes de la valorització en camps agrícoles i la recuperació energètica (Glinska et

al., 2019; Jaria et al., 2017). Així doncs, si el dipòsit en abocadors queda totalment prohibit, és cert que les pràctiques de gestió alternatives no són suficients per cobrir l'enorme generació de residus sòlids. Per tant, cal desenvolupar noves pràctiques sostenibles i prometedores que impliquin la valorització dels residus utilitzant-los com a matèria primera per a diferents finalitats. Centrar-se en la valorització dels fangs primaris, que són rics en fibra i representen el 70 % dels fangs generats en una fàbrica paperera, és una opció atractiva i amb gran potencial. En aquest cas, la proposta de valor és recuperar les fibres de cel·lulosa i després reutilitzar-les o convertir aquesta font en altres materials amb més valor afegit. Aquest enfocament contribueix a l'economia circular sostenible tot minimitzant la quantitat de residus en forma de fang sòlid, així com la disminució del consum de matèries primeres verges.

La cel·lulosa és un dels biopolímers naturals més abundants de la terra, amb una producció mundial estimada de $7,5 \cdot 10^{10}$ tones. La cel·lulosa presenta propietats interessants com un baix cost, biocompatibilitat, biodegradabilitat, la no toxicitat i bones propietats mecàniques (Habibi et al., 2010). D'altra banda, el caràcter hidrofílic que confereixen els seus grups hidroxils, la seva estructura porosa i la resistència de la cel·lulosa a ser dissolta en dissolvents comuns degut a la seva ordenada xarxa d'enllaços pont d'hidrogen i una estructura parcialment cristal·lina en restringeixen alguns usos. Per tal d'ampliar les aplicacions, és interessant fer una modificació de l'estructura de la cel·lulosa, ja sigui mitjançant la introducció de nous grups funcionals de manera que s'aconsegueix reduir el caràcter hidrofílic, o bé buscant la disruptió de les regions altament ordenades, de manera que es creen més porus i cavitats, aconseguint millorar l'accessibilitat de la cel·lulosa i consegüentment la seva dissolució.

L'acetilació és una modificació química en la qual els grups hidroxil (-OH) superficials de la cadena de cel·lulosa són substituïts per grups acetil (CH_3CO), aconseguint que la superfície de la cel·lulosa sigui menys hidrofílica. El procés d'acetilació depèn de l'accessibilitat de les fibres i de la susceptibilitat dels grups -OH que trobem en les zones cristal·lines i menys cristal·lines (Kalia et al., 2014). Per tant, com major sigui l'accessibilitat, més fàcil serà que els reactius es difonguin a l'interior de la xarxa tridimensional que presenta el polímer de cel·lulosa. Existeixen dos mètodes per dur a terme la reacció d'acetilació: en fase heterogènia (en dispersió) i homogènia (en dissolució). L'acetat de cel·lulosa (*cellulose acetate*, CA) es produeix comercialment fent reaccionar fibres de cel·lulosa d'alta qualitat (contingut de α -cel·lulosa > 95 %), és a dir, pastes de qualitat *dissolving*, ja siguin obtingudes del cotó o bé de la fusta, amb un excés d'anhidrid acètic, normalment del 5-15 % en pes, àcid acètic i utilitzant àcid sulfúric com a catalitzador. (Roselli et al., 2014). El grau de substitució (*Degree of Substitution*, DS) indica la mitjana de grups acetil que substitueixen els grups hidroxil per cada unitat d'anhidroglucosa (AGU) que conforma la molècula de cel·lulosa. Tot i que el CA es pot produir amb diferents graus de substitució, el nivell més comú és un DS de 2,5 ja que s'aconsegueix bona solubilitat en dissolvents comuns, i, bons pesos moleculars i propietats de fusió. Aquestes interessants propietats permeten utilitzar CA en una varietat de productes de consum, com ara filtres de cigarrets, tèxtils i peces de vestir, plàstics, pel·lícules fotogràfiques, membranes i altres. (Puls et al., 2011). El segment principal d'aplicació de l'acetat de cel·lulosa és per a filtres de cigarrets, on en els últims anys ha dominat el 80 % de la quota de mercat, seguit per l'aplicació en el camp tèxtil (Zionmarketresearch). No obstant això, les fibres d'acetat de cel·lulosa

tenen certs inconvenients, com ara poca resistència de les fibres, escassa resistència a l'abradió i mala retenció tèrmica (Sayyed et al., 2019). És important destacar que, pel que fa a la biodegradabilitat d'aquest, la presència del grup acetil requereix utilitzar enzims del tipus esterases com a primer pas per la degradació, mentre que la cel·lulosa verge és directament degradada per enzims del tipus cel·lulasa.

Durant l'última dècada, la recerca per utilitzar la cel·lulosa com a substitut dels derivats del petroli, per exemple en la indústria de l'envasat d'aliments, ha generat un gran interès, fet que es deu principalment a les característiques prometedores que té aquest material: reciclabilitat, biodegradabilitat i disponibilitat. No obstant això, avui en dia els envasos de base biològica encara no són populars i la majoria dels envasos d'aliments convencionals es produeixen amb materials basats en plàstics, com ara clorur de polivinil (PVC), poliestirè (PS), polietilè (PE), polipropilè (PP) i PET. Aquests són coneguts per la seva bona resistència i bones propietats barrera, resistència a la calor, la humitat, l'oxigen, etc., però no són biodegradables i el seu ús extens ha contribuït a generar greus problemes ambientals. D'altra banda, els envasos de base biològica, bàsicament utilitzen materials biodegradables o bionanomaterials biocompatibles, que ofereixen una alternativa sostenible, però per altra banda cal millorar la seva baixa barrera de gas i aigua, baixa resistència mecànica i tèrmica per aconseguir d'aquesta manera l'envasament desitjable (Chausali et al., 2022).

Aquest estudi es centra en la valorització dels fangs sòlids que es generen com a subproducte que és rebutjat de la fabricació de paper de filtre, amb l'objectiu de recuperar la fibra i reutilitzar aquesta

matèria primera per produir films d'acetat de cel·lulosa mitjançant la tècnica *casting*. Els films resultants es comparen amb films comercials d'acetat de cel·lulosa i s'examinen en termes d'hidrofobicitat, propietats barrera i propietats òptiques com a aplicació potencial per a l'envasat d'aliments. El residu sòlid es va sotmetre prèviament a diverses etapes de condicionament i processos de purificació per tal d'augmentar el contingut de cel·lulosa així com millorar la reactivitat de la cel·lulosa per tal d'aconseguir una millor acetilació.

2. Materials i mètodes

2.1. Materials

En aquest estudi, com a material de partida, es va utilitzar un fang sòlid, procedent d'una fàbrica on es produeixen diferents tipus de papers de filtre. El residu es va obtenir de la separació dels sòlids en suspensió resultants del circuit de reciclatge de l'aigua de drenatge. El sistema de recirculació del circuit d'aigua es basa en una decantació física per sedimentació, on les aigües blanques es separen en aigua clarificada i fibres. Les fibres que es dipositen al fons del decantador es recuperen per una bomba d'aspiració, i els fangs s'espesseixen abans de deshidratar-los en un separador de premsa de cargol (FAN PSS). Actualment aquests sòlids concentrats es consideren un residu sense valor i són rebutjats pel fabricant i degudament gestionats per una empresa especialitzada. El fabricant ens va subministrar els fangs amb finalitats d'investigació.

Per a la fabricació dels papers de filtre s'utilitzen fibres verges blanquejades amb la següent composició: 53 % hardwood, 38 % softwood i 9 % de linters de cotó. La composició química dels fangs es mostra a la Taula 1.

Residu sòlid sense tractar	
Cendres	6.47 ± 0.2
Extractius	0.63 ± 0.01
Glucans	86.8 ± 0.09
Xilans	13.2 ± 0.09
Blancor ISO	73.83 ± 0.6427
Reactivitat Fock	19.58 ± 3

Taula 1. Anàlisi de la composició dels fangs utilitzats com a matèria primera. Els resultats s'expressen en %.

En l'estudi també es va utilitzar com a mostra de referència fibres de linters de cotó altament purificades i blanquejades, subministrades per Celsur (Espanya).

2.2. Tractaments als fangs sòlids: hidròlisi enzimàtica i extracció alcalina en fred

El residu sòlid va ser sotmès a dos tractaments diferents: (i) hidròlisi enzimàtica amb endoglucanasa; (ii) aplicació d'extracció càustica en fred abans del tractament enzimàtic amb endoglucanasa. La finalitat d'introduir un tractament amb endoglucanasa era millorar la reactivitat de la cel·lulosa, mentre que l'extracció càustica en fred era una etapa de purificació que permetia dissoldre els polisacàrids d'hemicel·lulosa, i com a resultat, augmentar el contingut de cel·lulosa.

2.3. Reacció d'acetilació

Les mostres purificades resultants es van sotmetre a una reacció d'acetilació homogènia. Primer de tot per acondicionar la mostra es van afegir 50 ml d'àcid acètic, es va agitar durant 5 min i després es va filtrar. Aquest pas es va fer per duplicat. Després de la filtració, es van afegir 45 ml d'àcid acètic i 0,25 ml d'àcid sulfúric i es va agitar tot durant 1 min. Seguidament, es va afegir 5,35 g d'Ac₂O/g de fibra seca i es va agitar contínuament durant 30 min a temperatura ambient. Es va parar la reacció amb l'addició d'aigua destil·lada i àcid acètic en una proporció de 3:7 v/v, respectivament. Finalment, la mescla de reacció que presentava certa viscositat es va abocar gota a gota, en forma de filament continu, en un recipient amb aigua destil·lada i agitació constant. Amb la precipitació, es va regenerar l'acetat de cel·lulosa (*cellulose acetate, CA*). El producte obtingut es va rentar amb aigua destil·lada fins a la neutralitat i posteriorment es va assecar mitjançant una liofilització.

2.4. Producció dels films

Els films d'acetat de cel·lulosa es van produir mitjançant la tècnica *casting*. L'acetat de cel·lulosa resultant de la liofilització es va dissoldre en acetona per obtenir una concentració del 8 % en pes. La dissolució es va centrifugar primer a 6000 rpm durant 10 min, es va retirar el sobrenedant, i es va centrifugar de nou a 2000 rpm durant 5 min. Els films es van obtenir abocant i distribuït la solució sobre una placa de vidre, i a continuació assecant-los en un dessecador al buit.

2.5. Caracterització de la matèria primera

El material de partida es va caracteritzar en termes de brillantor ISO (ISO 2470:2009), viscositat (ISO 5351:2004) i la composició dels hidrats de carboni per HPLC.

2.6. Comprovació de l'assoliment de la reacció d'acetilació

Amb l'objectiu de comprovar que la reacció d'acetilació es va dur a terme satisfactòriament, els films d'acetat de cel·lulosa es van analitzar mitjançant un espectrofotòmetre ATR-FTIR (Spectrum 100, PerkinElmer, EUA).

2.7. Caracterització dels films

Es van mesurar diferents propietats barrera que es detallen a continuació. L'índex de transmissió d'oxigen es va mesurar mitjançant MOCON OX-TRAN® Model 1/50 amb una concentració d'oxigen atmosfèric del 100 % a una temperatura de 23 °C i a dues condicions d'humitat relativa (HR) diferents, 0 i 90 %. Aquest assaig mesura la quantitat d'oxigen que travessa la superfície (50 cm²) del film, en 24 h.

L'índex de transmissió de vapor d'aigua (*Water Vapor Transmission Rate, WVTR*) mesura la capacitat d'un material (en aquest estudi els films produïts) per retenir el pas de la humitat. L'assaig es va desenvolupar d'acord a la norma ISO 2528 en una cambra climàtica per mantenir les condicions ambientals controlades, a 25 °C, a dues condicions d'HR, 50 i 90 %, i es va utilitzar clorur de calci (CaCl₂) com a dessecant. Es van prendre mesures del pes en intervals de 24h, fins que no es va observar una variació en el pes.

2.8. Propietat hidrofòbica

La hidrofobicitat dels films es va determinar mesurant l'angle de contacte que forma una gota d'aigua de 4 μL dipositada a la superfície del film mitjançant un goniòfotòmetre de Dataphysics OCA15EC.

3. Resultats

3.1. Caracterització de les fibres procedents del residu

El procés d'acetilació de la cel·lulosa es basa en la reacció dels grups hidroxil ($-\text{OH}$) de la cel·lulosa amb l'anhídrid acètic com a activador i l'àcid sulfúric com a catalitzador, donant lloc a la introducció de grups acetils ($\text{CH}_3\text{CO}-$) com a nou grup funcional. Per tant, per aconseguir una bona substitució és interessant tenir com a principal component cel·lulosa i baix contingut d'hemicel·luloses i lignina, a més a més d'una bona accessibilitat dels grups hidroxil amb els reactius que intervenen en la reacció. Amb aquesta finalitat, els fangs es van sotmetre a diferents tractaments de condicionament i depuració: (i) hidròlisi enzimàtica, (ii) extracció alcalina en fred seguit d'una hidròlisi enzimàtica. L'extracció càustica en fred pot dissoldre selectivament les hemicel·luloses (Arnoul-Jarriault et al., 2015; Sixta, 2006) sense afectar a les molècules de cel·lulosa; mentre que l'endoglucanasa trenca aleatòriament els enllaços β -1,4-glicosídics donant lloc a cadenes de polisacàrids més curtes. Aquests enzims degraden preferentment la cel·lulosa amorfa situada a la superfície de la fibra i entre les microfibril·les, augmentant així la superfície cristal·lina exposada i la reactivitat de les fibres. A més a més, com a efecte secundari, permet ajustar amb precisió la viscositat de la pasta (Gehmayr et al., 2011; Ibarra et al., 2010).

D'acord amb els valors de viscositat (Taula 2), ambdós tractaments, hidròlisi enzimàtica individual, i el tractament combinat, van causar una important degradació de la cadena de cel·lulosa. El mecanisme d'acció de l'endoglucanasa va provocar una important reducció del grau de polimerització, causant una pèrdua del 56 % respecte el residu de partida sense tractar, i assolint un valor de viscositat final de 273 mL/g. L'efecte de degradació causat per la pròpia extracció alcalina també va ser significatiu tot i que menor respecte la hidròlisi enzimàtica, assolint una pèrdua de viscositat del 49 %. El tractament combinat d'extracció càustica en fred seguit d'un tractament amb endoglucanasa va contribuir a la major pèrdua de viscositat, assolint una reducció de gairebé el 59 %. Aquests resultats indiquen que l'extracció alcalina va potenciar l'efecte posterior de l'endoglucanasa.

La composició dels hidrats de carboni es va determinar per HPLC (Taula 2). Pel que fa al contingut d'hemicel·lulosa, l'eliminació més eficaç es va produir mitjançant l'extracció alcalina en fred, reduint la quantitat d'hemicel·lulosa fins a un contingut final del 9,9 %, comptat com a fracció xilà, el què suposa una reducció del 25 % respecte al material de partida. El tractament combinat va contribuir lleugerament a una major eliminació d'hemicel·luloses respecte al tractament alcalí, obtenint un contingut final de xilà del 9,6 %, que correspon a una eliminació total d'hemicel·luloses del 27 %. Tal com es descriu àmpliament a la literatura, les hemicel·luloses són impureses indesitjables que afecten la processabilitat de la cel·lulosa durant la reacció d'acetilació, per tant, es recomana tenir pastes amb un contingut d'hemicel·luloses relativament baix (de l'1 al 10 %) (Sixta, 2006). És significatiu que les dues mostres resultants dels tractaments de purificació presenten un contingut acceptable d'hemicel·luloses, tot

i que no arriben al nivell que presenta la mostra de cotó que utilitzem com a referència.

	Viscositat (mL/g)	Glucà (%)	Xilà (%)
Hidròlisi Enzimàtica (E)	273 ± 11.46	88.3 ± 2.52	11.7 ± 2.52
Extracció alcalina en fred (CCE)	314 ± 0.99	90.1 ± 0.03	9.9 ± 0.03
Extracció alcalina en fred + Hidròlisi Enzimàtica (CCE+E)	256 ± 22.98	90.4 ± 0.01	9.6 ± 0.01
Cotó	694 ± 38	98.8 ± 0.1	1.2 ± 0.1
Residu sòlid inicial (R)	620 ± 24.82	86.8 ± 0.09	13.2 ± 0.09

Taula 2. Propietats del residu inicial, de les mostres tractades i pasta de cotó.

L'efecte de la reacció d'acetilació es va avaluar mitjançant espectroscòpia FTIR. Com es pot veure a la Figura 1, els espectres de les tres mostres presentaven un perfil similar, on tant sols es van observar lleugers canvis d'intensitat. Els canvis estructurals de les fibres acetilades es van confirmar amb l'aparició de tres noves bandes característiques de la vibració del grup acetil al voltant de 1741, 1368 i 1220 cm^{-1} (Cunha et al., 2014).

La mesura de l'angle de contacte és l'assaig més freqüent per avaluar la hidrofobicitat superficial dels films. Amb la reacció d'acetilació, s'espera que les fibres acetilades tinguin un angle de contacte superior al de la cel·lulosa verge, perquè s'ha reduït la quantitat de grups hidroxil disponibles a la superfície. Com a referència, un paper blanquejat mostra un angle de contacte de 50° , mentre que les mostres

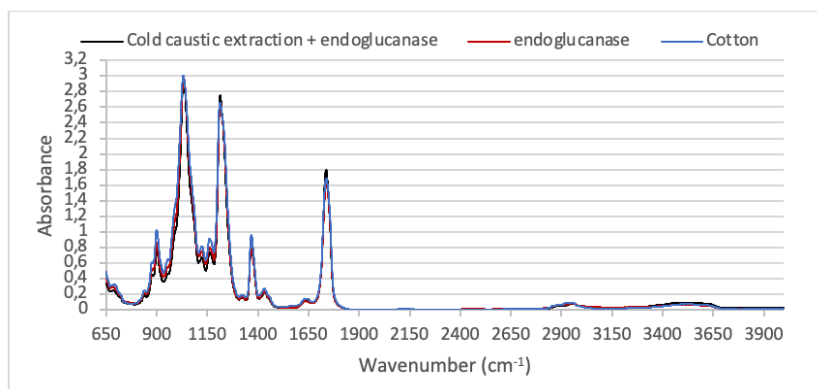


Figura 1. Espectre FTIR de les mostres acetilades.

acetilades presentaven valors superiors als 80°, amb mínimes diferències entre mostres, fet que quadra amb els resultats de FTIR, on es van trobar perfils acetilats d'acetilació similars.

El desenvolupament de films que proporcionin una adequada capacitat barrera a l'oxigen és necessari si es vol aplicar-los per l'envasat d'aliments, perquè l'oxigen és una de les principals causes de deteriorament dels aliments (Fernández-Santos et al., 2022; Saedi et al., 2021). Els resultats de l'índex de transmissió d'oxigen (OTR) es mostren a la Figura 2. Com més baixos siguin els valors de OTR significa que el film té major capacitat per retenir el pas de l'O₂. A major condicions d'humitat relativa, és d'esperar que la capacitat barrera disminueixi. Actualment, els principals materials d'emalatge d'aliments utilitzats comercialment estan fets de tereftalat de polietilè (PET), amb un valor OTR d'aproximadament 110 cm³/m²-dia (Fernández-Santos et al., 2021), molt per sota dels valors que hem obtingut amb les nostres mostres acetilades. La normativa ASTM

F1927 defineix com a films amb baixa capacitat barrera d'oxigen amb índexs de transmissió superior a $200 \text{ cm}^3/\text{m}^2\text{-dia-atm}$. Pel què fa als valors obtinguts a 50 % HR, que corresponen a les condicions atmosfèriques habituals, la mostra CCE+Endoglucanasa va presentar valors mínimament acceptables i aquest comportament també es va observar a 90 % HR, tot i que els valors van ser 10 vegades superiors. Aparentment, la definició anterior no és del tot suficient perquè cal tenir en compte l'espessor del film. Sota aquest principi, Wang (Wang et al., 2018) suggereix una classificació de la permeabilitat a l'oxigen (OP, $\text{cm}^3\cdot\mu\text{m}/\text{m}^2\text{-dia-atm}$) dels materials d'emalatge d'ús habitual en cinc categories: pobre (>40000), baix (4000-40000), mitjà (400-4000), alt (40-400) i molt alt (<40), sense especificar unes condicions d'HR. Tenint en compte aquesta classificació, si convertim els resultats de WVTR a OP ens trobaríem a rangs de molt baixa capacitat barrera a l'oxigen. Aquesta limitació caldria millorar-la significativament.

Un dels desavantatges més importants que presenten els materials obtinguts a partir d'un polímer natural com és el cas de la cel·lulosa és la seva alta sensibilitat a l'aigua. Aquesta característica limita clarament les aplicacions a la vida real, com per exemple l'ús com a embalatge pels aliments. Per tant, és important conèixer la capacitat barrera que presenten els films en front a diferents condicions d'humitat.

Tal i com era d'esperar, els resultats mostren que a condicions d'humitat més severes, els valors de WVTR són majors ja que augmenta la saturació dels llocs d'unió de l'aigua i conseqüentment fa disminuir la capacitat barrera al vapor d'aigua. S'observa que les mostres presenten, per a diferents condicions d'HR, el mateix comportament, tot i que a 50 % d'HR, la diferència entre mostres és

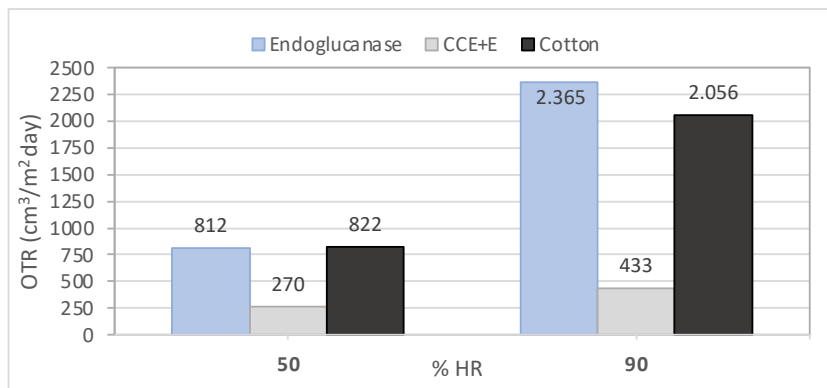


Figura 2. Índex de transmissió d'oxigen (*Oxygen Transmission Rate, OTR*).

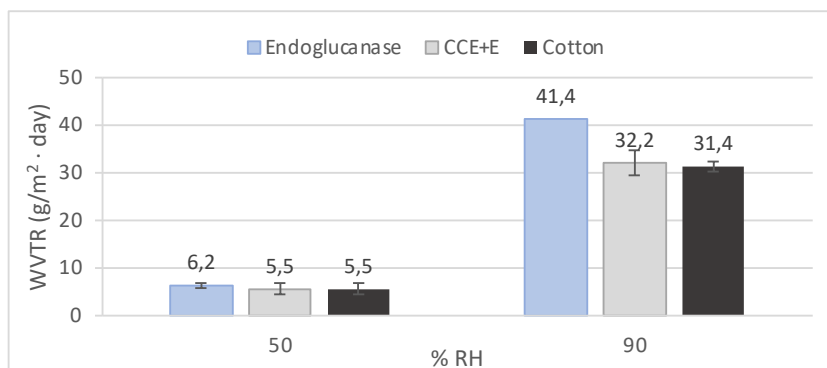


Figura 3. Índex de transmissió de vapor d'aigua (*Water Vapor Transmission Rate, WVTR*).

només d'un 11 %, mentre que a 90 % d'HR la diferència entre mostres s'amplia fins al 24 %. Els millors valors els ofereixen les fibres de cotó, mentre que el pitjor valor el presenta la mostra sotmesa a un tractament amb endoglucanasa. Si aquests valors els convertim a

valors de permeabilitat al vapor d'aigua (water vapor permeability, WVP, tenint en compte l'espessor de les mostres i la pressió de vapor a 25°C, obtenim valors per sota de 40 g·µm/m² dia kPa, al què corresponen a films amb una alta capacitat barrera al vapor d'aigua tal i com descriu (Wang et al., 2018).

4. Conclusions

Els films d'acetat de cel·lulosa, produïts a partir del residu procedent dels fangs sòlids generats en una fàbrica de paper, van presentar una excel·lent propietat barrera al vapor d'aigua i també un caràcter hidrofòbic, gràcies a la incorporació dels grups acetil mitjançant la reacció d'acetilació. La mostra CCE+Endoglucanasa va oferir els millors resultats. Pel què fa a la propietat barrera a l'oxigen els resultats no van ser satisfactoris i per tant caldria incorporar elements que milloressin aquesta característica.

Agraïments

This publication is part of the PID2020-114070RB-I00 (CELLECOPROD) project, funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033. The author Elisabet Quintana is a Serra Hünter Fellow. We kindly acknowledge Celsur company to provide cotton pulp and the Paper company to supply solid sludge.

Referències

- Arnoul-Jarriault, B., Lachenal, D., Chirat, C., & Heux, L. (2015). Upgrading softwood bleached kraft pulp to dissolving pulp by cold caustic treatment and acid-hot caustic treatment. *Industrial Crops and Products*, 65, 565–571. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.051>
- Bajpai, P., & Bajpai, P. (2015). Management of pulp and paper mill waste [Book]. In *Management of Pulp and Paper Mill Waste* (1st ed. 2015., pp. 1–197). Springer International Publishing: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11788-1>
- Chausali, N., Saxena, J., & Prasad, R. (2022). Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100257>
- Cpi. (2021). Process Wastes from the Paper Industry. *Confederation of Paper Industries*, March, 1–12.
- Cunha, A. G., Zhou, Q., Larsson, P. T., & Berglund, L. A. (2014). Topochemical acetylation of cellulose nanopaper structures for biocomposites: Mechanisms for reduced water vapour sorption. *Cellulose*, 21(4), 2773–2787. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0334-z>
- Faubert, P., Barnabé, S., Bouchard, S., Côté, R., & Villeneuve, C. (2016). Pulp and paper mill sludge management practices: What are the challenges to assess the impacts on greenhouse gas emissions? *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 107–133. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.007>
- Fernández-Santos, J., Valls, C., Cusola, O., & Roncero, M. B. (2021). Improving Filmogenic and Barrier Properties of Nanocellulose Films by Addition of Biodegradable Plasticizers. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9(29), 9647–9660. <https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.0C09109>
- Fernández-Santos, J., Valls, C., Cusola, O., & Roncero, M. B. (2022). Composites of cellulose nanocrystals in combination with either cellulose nanofibril or carboxymethylcellulose as functional packaging films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 211, 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.IJBIOMAC.2022.05.049>
- Gehmayr, V., Schild, G., & Sixta, H. (2011). A precise study on the feasibility of enzyme treatments of a kraft pulp for viscose application. *Cellulose*, 18(2), 479–491. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9483-x>
- Glinska, K., Aqlan, M., Giralt, J., Torrens, E., Fortuny, A., Montané, D., Stüber, F., Fabregat, A., Font, J., Olkiewicz, M., & Bengoa, C. (2019). Separation of cellulose from industrial paper mill wastewater dried sludge using a commercial and cheap ionic liquid. *Water Science and Technology*, 79(10), 1897–1904. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.189>
- Habibi, Y., Lucia, L. A., & Rojas, O. (2010). Cellulose nanocrystals: Chemistry, self-assembly, and applications. *Chemical Reviews*, 110(6), 3479–3500. <https://doi.org/10.1021/cr900339w>

- Ibarra, D., Köpcke, V., & Ek, M. (2010). Behavior of different monocomponent endoglucanases on the accessibility and reactivity of dissolving-grade pulps for viscose process. *Enzyme and Microbial Technology*, 47(7), 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2010.07.016>
- Jaria, G., Silva, C. P., Ferreira, C. I. A., Otero, M., & Calisto, V. (2017). Sludge from paper mill effluent treatment as raw material to produce carbon adsorbents: An alternative waste management strategy. *Journal of Environmental Management*, 188, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.004>
- Kalia, S., Boufi, S., Celli, A., & Kango, S. (2014). Nanofibrillated cellulose: Surface modification and potential applications. *Colloid and Polymer Science*, 292(1), 5–31. <https://doi.org/10.1007/s00396-013-3112-9>
- Puls, J., Wilson, S. A., & Höltzer, D. (2011). Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(1), 152–165. <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0258-0>
- Roselli, A., Hummel, M., Monshizadeh, A., Maloney, T., & Sixta, H. (2014). Ionic liquid extraction method for upgrading eucalyptus kraft pulp to high purity dissolving pulp. *Cellulose*, 21(5), 3655–3666. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0344-x>
- Saedi, S., Garcia, C. V., Kim, J. T., & Shin, G. H. (2021). Physical and chemical modifications of cellulose fibers for food packaging applications. *Cellulose*, 28(14), 8877–8897. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04086-0>
- Sayyed, A. J., Deshmukh, N. A., & Pinjari, D. V. (2019). A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell. *Cellulose*, 26(5), 2913–2940. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02318-y>
- Sixta, H. (2006). Pulp Purification. In *Handbook of Pulp* (Vol. 2, pp. 933–965). <https://doi.org/10.1002/9783527619887.ch8>
- Wang, J., Gardner, D. J., Stark, N. M., Tajvidi, M., & Cai, Z. (2018). *Moisture and Oxygen Barrier Properties of Cellulose Nanomaterial- Based Films*. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03523>

SOLUCIÓN DE CAMPERIZACIÓN A PARTIR DE RESIDUOS

Amàlia Bardolet Fernandez

ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Bàrbara Sureda Carbonell

EEBE. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Resumen

En el presente artículo se propone una solución de camperización a partir de material reciclado. La idea nace como respuesta a la sensibilización actual en torno al cuidado del medio ambiente y a la problemática mundial de los plásticos.

Después de una investigación en torno a los residuos, se escoge trabajar con plástico de rechazo en forma de listones de extrusión. El resultado mezcla innovación y respeto por el medio ambiente en una industria en crecimiento como es la industria camper. Se trata de un mueble, pensado para dormir dos personas, hecho a partir de plástico de rechazo. El mueble está formado por dos partes, una fija y una móvil que permite que su tamaño se pueda regular entre 0,6 m a 1,2 m de ancho.

Como conclusión, se puede constatar que es posible acercar el respeto por el medio ambiente a la industria camper centrándonos en soluciones desarrolladas a partir de material reciclado.

Abstract

In this article, a camper van solution is proposed from recycled material. The idea was born as a response to the current awareness about the environment and the global problem with plastics.

After an investigation around waste, it is chosen to work with rejected plastic in the form of extrusion slats. The result mixes innovation and respect for the environment in a growing industry such as the campervan industry. It is a piece of furniture, designed to sleep two people, made from rejected plastic. The cabinet is made up of two parts, one fixed and one mobile that allows its size to be adjusted between 0.6 m and 1.2 m wide.

In conclusion, it can be seen that it is possible to bring respect for the environment closer to the campervan industry by focusing on solutions developed from recycled material.

1. Introducción

Debido a un interés personal en la utilización de un vehículo camper se investiga en el Directorio de trabajos de la UPC y se observa que hay un número considerable de trabajos nombrados “Estudios de la camperización de un vehículo”. Ante esto, se propone una solución de camperización con un valor añadido: el respeto por el medio ambiente cómo factor principal de decisión durante todo el proceso de diseño.

2. Antecedentes

El tema de este artículo es el uso de plástico reciclado para crear mobiliario de camperización. Tras una primera investigación, se constata que hay un TFE nombrado “Línea de mobiliario con plástico reciclado” (Calatayud, 2022) en el cual se diseñan un grupo de productos de mobiliario escolar. También, se encuentra un artículo en ScienceDirect, “Water-resistant panels made from recycled plastics and resin” (Gaggino, 2012), que propone unos paneles de plástico reciclado capaces de ser usados en múltiples sectores, como el de la

construcción. Los autores desarrollaron, a partir de plástico reciclado, componentes de construcción, mobiliario, paneles de pared, revestimientos y puertas.

Más allá de eso, buscando “Recycled plastic furniture” se encuentran algunas startups o hasta pequeñas empresas que actualmente ya se dedican a vender productos de plástico reciclado. También, se encuentra la comunidad Precious Plastic. Una comunidad fundada alrededor del 2014, donde grupos o individuos comparten sus experiencias y conocimientos sobre el reciclaje del plástico a pequeña escala. A través de esta comunidad, se comparte información para crear pequeños talleres de reciclaje de plástico, construir máquinas trituradoras, extrusoras, inyectoras, etc. En Cataluña, se encuentran siete talleres registrados en la comunidad Precious Plastic.

De todos modos, dentro del sector de las camperizaciones, no se encuentra aún nadie que haya creado componentes o muebles enteros a partir de plástico reciclado.

3. Investigación residuos

Se define “residuo” como los restos de un todo, lo que rechazamos porque no consideramos útil. El Catálogo de residuos de Catalunya, publicado por la Agencia de Residuos de Catalunya y creado a partir de la Lista Europea de Residuos, codifica los residuos en 20 capítulos diferentes según las características de la actividad que los genera.

Estos 20 capítulos se dividen en otros 110 subcapítulos, que finalmente componen un total de 843 códigos de residuos identificables. Este catálogo también hace constar que existen 13 vías de valorización de residuos y presenta un listado de priorización para su gestión. Una vez consultado este catálogo, en la presente investigación, se

considera la posibilidad de trabajar con los residuos provenientes de las siguientes actividades:

- 03: Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón
- 04: Residuos de la industria del textil
- 15: Residuos de embalajes
- 7: Residuos de la construcción y la demolición
- 20: Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones)

Por lo tanto, simplificando, nos quedarían los siguientes tipos de residuos: papel y cartón, madera, plásticos, ropa y materias textiles.

En la siguiente tabla, vemos los distintos procesos de valorización de residuos en el orden de prioridad especificado en la guía:

Residuo	Procesos de valorización
Papel y cartón	R03 (R0305, R0306)
Madera	R03 (R0301, R0305, R0306)
Plásticos	R03 (R0306)
Ropa y Materias textiles	R03 (R0306, R0314)

Tabla 1. Residuos y procesos.

Fuente: Elaboración propia con los datos del Catálogo de Residuos de Cataluña.

Proceso	Residuo	Detalle proceso
R0301	Madera	Tratamiento biológico aerobio de residuos orgánicos (compostaje)
R0305	Papel y cartón, Madera	Uso de residuos de papel en la obtención de pasta para la fabricación de papel
R0306	Papel y cartón, Madera, Plásticos, Ropa y Materias textiles	Reciclaje de otros residuos orgánicos para su posterior fabricación o producción de nuevos productos
R0314	Ropa y Materias textiles	Preparación para la reutilización de residuos orgánicos

Tabla 2. Procesos de valorización de residuos.

Fuente: elaboración propia con los datos del Catálogo de Residuos de Cataluña.

Viendo esta tabla, tomamos conciencia de que podríamos hacer prácticamente la camperización entera a partir de residuos: utilizando residuos textiles como aislamiento, el papel y cartón para crear pequeños objetos, y madera o plástico para los muebles más grandes.

3.1 Elección del material

Con el objetivo de asegurar la viabilidad del proyecto, este se acota en el diseño de un mueble cama para campers y se escoge usar el plástico reciclado con el objetivo de sensibilizar, innovar y demostrar que se puede crear cosas útiles a partir de los residuos plásticos que generamos.

Además, el plástico comporta algunas ventajas frente a la madera, este es ignífugo e impermeable y no requiere de mantenimiento. Por otro lado, cabe remarcar que la madera tiene un reciclaje efectivo, en oposición al de los plásticos con el cual tenemos un problema global.

4. Plásticos y su reciclaje

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas extraídas principalmente del petróleo y hechas de hidrocarburos. Su nombre se deriva del griego "plastikos" que significa "capaz de ser moldeado o modelado" y se refiere a su maleabilidad durante la fabricación. Esta cualidad permite que se moldee, presione o extruya en una gran variedad de formas. La mayoría de los plásticos son polímeros.

Debido a su coste relativamente bajo, facilidad de fabricación y versatilidad, los plásticos se utilizan en una enorme gama de productos, desde botellas de champú hasta cohetes espaciales.

Es conocido que el gran volumen de producción de plástico está causando graves daños ambientales debido a su lenta tasa de descomposición (estudios recientes hablan de 500 años). Según la comunidad Precious Plastic (2022), producimos 300 millones de toneladas métricas de plástico nuevo cada año. Este hecho es preocupante, especialmente cuando tenemos tanto material existente que podemos usar.

El plástico virgen está hecho de petróleo, un combustible fósil valioso no renovable, y se usa para fabricar productos baratos que se desechan después de un tiempo muy corto de uso. Y, dado que, según Precious Plastic (2022), menos del 10 % del plástico total se recicla, la mayor parte de este plástico recién producido termina contaminando

el medio ambiente, ya sea en vertederos, en el océano o en plantas de incineración.

4.1. Producción mundial de plástico

El plástico es uno de los materiales más presentes en la economía y de los contaminantes más persistentes de la Tierra. Según el informe “Plastics & Climate, the hidden costs of a plastic planet” de Bernhardt, C et al. (2019), la producción mundial de plástico ha aumentado de 2 millones de Tm (toneladas métricas) en 1950 a 380 millones de Tm en 2015. El Foro Económico Mundial (WEF, 2019) proyecta que la producción y el uso de plástico crecerán un 3,8 por ciento anual hasta 2030. Si las tendencias de crecimiento continúan, el plástico representará el 20 % del consumo mundial de petróleo para 2050.

Cabe remarcar que la producción de plástico se encuentra entre los mayores contribuyentes a las emisiones globales de gases de efecto invernadero del sector industrial.

4.2. Plásticos y cambio climático

En el Acuerdo Climático de París de 2015, el mundo se comprometió a trabajar en conjunto para limitar el aumento total de la temperatura global por debajo de los 2 grados centígrados (°C) y realizar esfuerzos para mantenerse por debajo de 1,5 °C. El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) concluyó que mantener el calentamiento a no más de 1,5 °C es necesario y factible, pero enfatizó que para hacerlo se requieren reducciones rápidas y drásticas en las emisiones de gases de efecto invernadero. Específicamente, requiere reducir las emisiones

de estos gases en un 45 por ciento para 2030 y alcanzar emisiones netas cero a más tardar en 2050 (IPCC, 2022).

También, según el informe “Plastics & Climate, the hidden costs of a plastic planet” de Bernhardt, C et al. (2019), el plástico se encuentra entre las fuentes más importantes y de rápido crecimiento de emisiones industriales de gases de efecto invernadero. Las emisiones actuales de gases de efecto invernadero en cada etapa del ciclo de vida del plástico amenazan la capacidad de la especie humana para cumplir con los objetivos climáticos globales. Según el mismo informe, las acciones de alta prioridad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los plásticos son:

- Poner fin a la producción y el uso de plástico desechable de un solo uso
- Detener el desarrollo de nuevas infraestructuras de petróleo, gas y petroquímica
- Fomentar la transición hacia comunidades sin residuos
- Implementar la responsabilidad extendida del productor como un componente crítico de las economías circulares
- Adoptar y hacer cumplir objetivos ambiciosos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de todos los sectores, incluida la producción de plástico

4.3. Gestión de los desechos plásticos

La gestión de los desechos plásticos es una fuente importante de emisiones, especialmente la incineración de desechos a energía y la

quema a cielo abierto. A continuación, se detallan diferentes formas de gestión: reciclaje, vertido e incineración.

Respecto al reciclaje, el proceso más simple y por ende más extendido para dar una segunda vida al plástico es el reciclaje mecánico. Este reciclaje se refiere a procesos físicos que recuperan el material sin alterar la estructura molecular de los polímeros.

Como demuestra la Figura 1, el reciclaje de plástico tiene beneficios positivos en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero en comparación con otros métodos de eliminación de desechos existentes, como el vertido o la incineración.

Climate Impacts of Plastic Packaging Waste Disposal Options (kg CO₂e/metric ton)

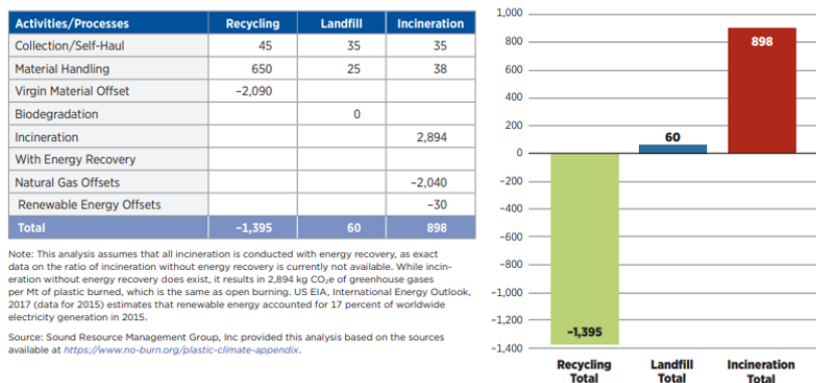


Figura 1. Impacto climático de las distintas opciones de desecho del plástico.

Fuente: Informe Plastics&Climate[10].

Pero, si bien algunos plásticos se pueden reciclar, hacerlo implica los siguientes pasos: recogida, clasificación, transporte, trituración, lavado, fusión y granulación. Seguidamente, este plástico podrá ser inyectado de nuevo o extrusionado.

Según el informe “Plastics & Climate, the hidden costs of a plastic planet” de Bernhardt, C et al. (2019), solo el nueve por ciento de todo el plástico desechado desde 1950 se ha reciclado, mientras que el doce por ciento se ha incinerado. El plástico restante ha sido enterrado o terminó esparcido por todo el mundo. Precisamente por este motivo han surgido organizaciones con el objetivo de reciclar el plástico localmente, permitiendo que el reciclaje sea hecho correctamente. La más conocida es la comunidad Precious Plastic citada anteriormente.

Ante todo esto, cabe remarcar que, según el informe “Plastics & Climate, the hidden costs of a plastic planet” de Bernhardt, C et al. (2019), la fabricación de nuevos productos a partir de plástico reciclado es al menos tres veces más eficiente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero que la fabricación de esos mismos productos con materias primas vírgenes.

El vertido tiene un impacto climático menor que la incineración. Sin embargo, los vertederos producen ácidos y filtran metales pesados del plástico a las aguas subterráneas. Por lo tanto, no pueden considerarse una solución a largo plazo.

La incineración es la opción más contaminante, ya que presenta un impacto climático de 898 KgCO₂ eq/Tm cómo podemos observar en la Figura 1. Además, se generan emisiones altamente tóxicas en el aire (metales, dioxinas, furanos, gases ácidos, partículas y dióxido de carbono).

Con este análisis, podemos constatar que la mejor forma de actuar respecto a la gestión de los residuos es seguir el principio de las 3R's reducir, reutilizar y reciclar, en sintonía con el movimiento “zero waste”.

5. Ecodiseño del mueble Camper

5.1. Análisis de mercado

Como se ha comentado previamente, actualmente no hay ninguna empresa de camperización catalana que declare usar materiales reciclados. En cambio, sí que encontramos empresas que hacen mobiliario a partir de plástico reciclado. Hecho que demuestra que se podría usar este material para camperizar una furgoneta.

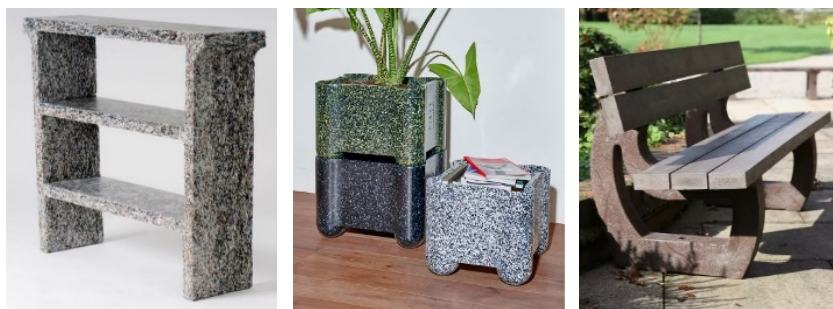


Figura 2. Mobiliario a partir de plástico reciclado.
Fuente: Pinterest.

5.2. Material

Se observa que se puede obtener plástico reciclado en distintas formas: granulado, en láminas y en extrusiones. La forma escogida para el presente proyecto es en listones de extrusión por la facilidad de aprovisionamiento y su coste económico. Se constata que aquellos hechos a base de Poliéster o ABS son más rígidos y duros, mientras que los hechos a partir de PP o HDPE son más blandos y flexibles.

Se considera que lo más conveniente es construir el mueble cama a partir de listones de Polietileno de Alta Densidad reciclado (HDPE), por sus cualidades de dureza y flexibilidad. Desafortunadamente, esta

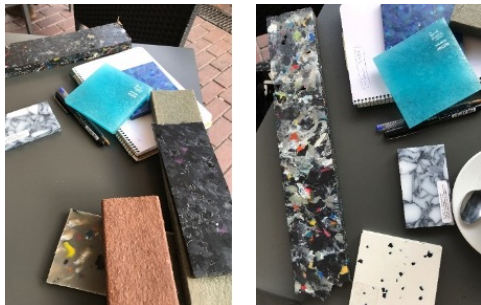


Figura 3. Listones de extrusión de distintos materiales.
Fuente: propia.

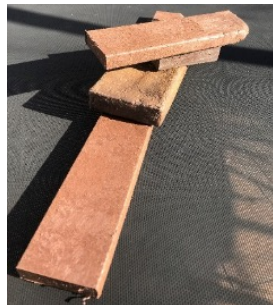


Figura 4. Listones de extrusión SOLTECO.
Fuente: propia.

opción queda descartada por la imposibilidad de encontrar una empresa que venda los listones de HDPE ya extrusionados.

Finalmente, se escoge usar listones de extrusión de plástico de rechazo de la empresa SOLTECO. Concretamente, el material escogido se compone de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), Polietileno de Baja Densidad (LDPE), Polipropileno (PP) y otros plásticos de rechazo. Tiene una densidad de 1,044 g/cm³, una resistencia a la flexión de 15MPa y una dureza de 63 Shore.

5.3. Requerimientos de diseño

Durante la fase de diseño del mueble cama, se intenta usar la mínima cantidad de material y usar el mismo tipo de plástico. También, se prioriza que el resultado final sea versátil y funcional, es decir, que el mueble sea plegable y se adapte a las distintas utilidades del vehículo.

Los requerimientos de diseño son:

- Prototipo físico del mueble cama: hecho principalmente a partir de residuos (más de un 80 %). Funcional y listo para ser usado.
- El mueble se diseña específicamente para ser usado en un chasis tamaño mediano y soportar el peso de dos personas tumbadas (aprox. 70kg/persona)
- La cama debe tener unas dimensiones de 1800mmx1200mm
- Fácil manipulación, guardado y montaje
- Económico

5.4. Especificaciones del producto final

Se pueden ver las especificaciones y características del producto final en el siguiente póster y en el vídeo enlazado con el código QR.

6. Impacto ambiental

Para evaluar el impacto ambiental del mueble diseñado, se hace un análisis de impacto ecológico en tres distintos materiales: plástico reciclado, polietileno de alta densidad (HDPE) y madera (Plywood o contrachapado).

Se calculan las emisiones de CO₂ correspondientes a cada versión con los datos proporcionados por IDEMAT. Estos datos consideran que, en su fin de vida, el producto termina en el vertedero.



Figura 5. Póster especificaciones producto final.

Fuente: Elaboración propia.

Material	CO ₂ eq/kg	Peso mueble (kg)	Kg CO ₂ eq
Mechanical recycled pellets	0,6	43,2	25,9
HDPE	1,8	40,1	72,2
Plywood indoor	0,7	24,0	16,8

Tabla 3. Impacto ecológico del mueble en distintos materiales.

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar, la huella ecológica que tiene el mueble diseñado es de 25,9 Kg CO₂ equivalente. Esta, es lógicamente inferior al impacto que tendría si estuviera hecho a partir de plástico nuevo, en concreto de HDPE.

Se observa que, si el mueble estuviera hecho a partir de madera, este tendría un impacto ecológico menor. Esto es debido a que la madera es más ligera y tiene un ratio CO₂ eq/kg bajo.

Aun así, cabe tener en cuenta que con el uso de plástico reciclado se evita cualquier tipo de tratamiento químico y se afronta el problema global de su reciclaje.

7. Conclusiones

El presente artículo demuestra que es posible acercar el respeto por el medio ambiente a una industria en crecimiento como es la de los vehículos camper. Se constata que el plástico reciclado no está siendo utilizado en el sector camper y que puede ser una alternativa a valorar.

Respecto al diseño, apuntar que el valor de la solución planteada no está en la estética o en el mecanismo, sino en los materiales, la simplicidad y la sostenibilidad.

Comentar también que existen otras opciones de plástico reciclado con las que también se podría haber construido el prototipo, cómo por ejemplo, las láminas de plástico reciclado. Aun así, cabe tener en cuenta el coste del material y la facilidad de aprovisionamiento, motivo por el cual se descarta en el presente proyecto.

Referencias

- Agència de Residus de Catalunya. (febrero de 2019). Catàleg de Residus de Catalunya. Guia sobre la codificació, la classificació i les vies de gestió dels residus a Catalunya. https://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/residus_industrials/guia_catalog_CRC.pdf
- Atira Innovation (20 de octubre de 2020) ¿Qué es la valorización de residuos o subproductos? [https://www.atirainnovation.com/guia-de-valorizacion-de-residuos/#%C2%BFQue es la valorizacion de residuos o subproductos](https://www.atirainnovation.com/guia-de-valorizacion-de-residuos/#%C2%BFQue%20es%20la%20valorizacion%20de%20residuos%20o%20subproductos)
- Bernhardt, C., Feit, S., Hamilton, L., Kelso, M., Labbé-Bellas, R., Malone, S. et al. (Mayo de 2019). Plastic & Climate • The Hidden Costs Of A Plastic Planet Plastic and Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet - Center for International Environmental Law (ciel.org)
- Cáceres, P. (17 de julio de 2020) Todo lo que siempre quisiste saber sobre los plásticos. <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/economia-circular/cuantos-tipos-de-plastico-hay-aprende-a-distinguirlos/>
- Calatayud, A. (Julio de 2022). Línia de mobiliari amb plàstic reciclat. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/372580>
- Espona, J. (07 de febrero de 2019) Jerarquía de residuos: prevención, reutilización, reciclado, valorización y eliminación. <https://www.seas.es/blog/varios/jerarquia-de-residuos-prevencion-reutilizacion-reciclado-valorizacion-y-eliminacion/>
- Gaggino, R. (Octubre de 2012) Water-resistant panels made from recycled plastics and resin. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812003297> <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.125>
- Idemat Light LCA (s.f) Sustainable Materials Selection. <http://idematapp.com/>
- Precious Plastic. (18 de octubre de 2022) The basics of plastic. <https://community.preciousplastic.com/academy/plastic/basics>
- Psadmin. (16 de octubre de 2019) A Quick Overview of Plastic Recycling & its Processes. <https://www.plastivision.org/blog/a-quick-overview-of-plastic-recycling-its-processes/#:~:text=The%20Plastic%20Recycling%20Process&text=Involves%20shredding%20of%20the%20waste%20into%20flakes.&text=After%20shredding%2C%20the%20plastic%20flakes,hot%20water%20to%20eradicate%20contaminants.&text=Involves%20heating%20the%20plastic%20to,can%20be%20processed%20into%20granules>
- Solteco. (s.f) Qué hace SOLTECO. <http://solteco.org/que-hace-solteco>
- Wikipedia. (s.f.) Residu (deixalles). [https://ca.wikipedia.org/wiki/Residu_\(deixalles\)](https://ca.wikipedia.org/wiki/Residu_(deixalles))
- Zero Waste Enthusiastic (2019). Zero Waste Lifestyle: Beyond the Hype .

ANALYTICAL METHODS APPLIED TO THE STUDY OF MODERNIST STAINED GLASS

Martí Beltran

EEBE. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Trinitat Pradell

EEBE. Departament de Física (UPC)

Resum

Els vitralls preparats al període modernista són un fràgil element del nostre patrimoni cultural i després de més de cent anys d'exposició als elements i la contaminació mostren signes de deteriorament. Un vitrall modernista conté peces de vidre unides amb tires de plom. Els dissenys es fonen sobre la superfície del vidre substrat utilitzant esmalts i grisalles com a colors i contorns. L'objectiu d'aquest article és mostrar els mètodes analítics aplicats a l'estudi dels vitralls modernistes i les alteracions que apareixen a la seva superfície, així com els mecanismes de degradació dels esmalts blaus i verds. S'han analitzats les matèries primeres emprades al taller modernista de Rigalt, Granell & cia i fragments originals pertanyents a la col·lecció privada del taller de J.M. Bonet. Els esmalts són borosilicats de plom i zinc i les mostres històriques mostren una capa rica en silici i empobrida en bor, plom i zinc, amb sulfats i carbonats de plom i calci precipitats degut a la corrosió atmosfèrica. Els esmalts blaus i verds mostren una microestructura en capes amb més tendència a ser degradada, efecte que augmenta degut a l'efecte de l'escalfament i l'estrès tèrmic produït per l'absorció de la radiació IR.

Abstract

Stained glasses made on the modernist period are a fragile component of our cultural heritage and after more than one hundred years of exposition to weathering and pollution shows signs of deterioration. A modernist stained glass panel is prepared by glass pieces which are held together by strips of lead. Designs are fused over the substrate glass using enamels and grisailles as a colours and contours. The aim of the paper is to show the analytical methods applied to the study of the modernist stained glass and the alterations revealed on their surface, as well as the degradation mechanisms of the blue and green enamels. Raw materials used in the Rigalt, Granell & cia modernist workshops and kept in situ fragments belonging to the private collection of the J.M. Bonet workshop have been analysed. The enamels are made of a lead-zinc borosilicate glass and the historical samples show a lead, boron and zinc depleted silica rich amorphous glass, with precipitated lead and calcium sulphates or carbonates, characteristic of atmospheric corrosion. The blue and green enamels show also a layered microstructure more prone to degradation which is augmented by a greater heating and thermal stress affectation produced by the enhanced Infrared absorbance.

1. Introduction

Modernist stained glasses are a fragile component of our cultural heritage. Their production combines the use of different textured glasses, either coloured or transparent, assembled by strips of lead and the use of enamels, consisting of a thin coloured glass layer fixed over a transparent base glass (Vila-Grau et al., 1982; Gil, 2019). Painted designs of transparent and translucent enamels (thin colour glass layer fired to be fixed over a transparent substrate glass), grisailles (iron oxide based dark opaque paint used to draw contour lines and produce the effect of volumes and shadows), carnations (iron oxide based reddish partly opaque paint used to imitate flesh) and silver stains (metallic silver nanoparticles diffused in the glass surface) were also widely used to facilitate the recreation of paintings (Pradell et al., 2016; Schalm et al., 2009; Vilarigues et al., 2020). However, most of

this fragile heritage is suffering some degree of deterioration. The modernist enamels applied over stained glasses, ceramics or metals located on exterior walls due to its functional nature as building's windows have been exposed to the atmosphere and solar irradiation for many years and they show a real damage on its appearance,



Figure 1. Picture of Les Dames de Cerdanyola panel, kept in the Museu de Cerdanyola (Barcelona) and made by the Dietrich workshop. At right a picture shown the blue enamel deterioration on the panel.

specially the blue and green enamels (Beltran et al., 2019; Machado et al., 2018) as shown on Figure 1.

The aim of the paper is to show the analytical methods and proceeds applied to the study of the modernist stained glass and the principal alterations revealed on their surface, as well as the degradation mechanism of the blue and green enamels.

2. Methodology

The enamel powder used as a raw material by one of the most important glazier companies of the modernist period in Barcelona, Rigalt, Granell & cia, and belonging to the J.M. Bonet Vitralls S.L. workshop was studied. A collection of kept in place stained glass fragments from the most important glazier companies from the modernist period in Barcelona was also analysed to determine their conservation state and identify the corrosion mechanisms. The altered paints have been compared to unaltered replicated paints obtained from the original materials of the workshop to determine the degree of alteration of the paints, as well as to identify the corrosion mechanisms.

The analytical techniques applied to determine microcrystalline pigment and reaction particles were Optical Microscopy (OM) and Scanning Electron Microscopy (SEM) with an Energy Dispersive Spectroscopy detector (EDS), and Focus Ion Beam (FIB) to establish the presence of pigment nanoparticles. Laser Ablation Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS), was also applied to determine the chemical composition of substances and conventional X-ray Diffraction (XRD) and μ -XRD with synchrotron light, was used to study the presence of crystalline compounds. The colour and nature

of the colourants was studied by Ultraviolet, Visible and Near Infrared (UV-Vis-NIR) spectroscopy using Diffuse Reflectance and Transmission modes. The firing temperatures adequate to fix the enamels to contemporary substrate glasses were determined by Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Hot Stage Microscopy (HSM).

3. Results and discussion

The ready-to-be-used enamels powder found in the Rigalt, Granell & cia workshop materials belong to different manufacture companies: Lacroix, Wenger and l'Hospied. Their analysis by means of LA-ICP-MS have revealed they are made of a lead-zinc borosilicate glass with a composition between 2:3 and 2:1 $B_2O_3:SiO_2$ molar ratio and 30-40 mol % PbO which is characterised by a low firing temperature while maintaining a reasonable stability against chemical corrosion, in particular water corrosion. The glass is mixed with a wide variety of colourants and pigment particles to obtain the different colours. The glass transition temperature and softening range of the glass component of the enamels and also of the most common substrate glasses used in the period were determined by means of DSC and HSM (Mazurin, 2007). The softening temperature of the enamel glass varies between 583 °C and 617 °C for the studied samples. The glass transition, deformation and softening temperature of the soda-lime contemporary blown glass used as substrate glass are 575 °C, 613 °C and 744 °C, respectively, which leaves a relatively narrow firing temperature range around 600 °C for the enamels. A glassy compound, flux, which apparently was added to the enamels when necessary to reduce the firing temperature and improve their adherence to the substrate glass was also studied. The flux is a high

lead borosilicate glass (in mol % $60\text{PbO}+20\text{SiO}_2+20\text{B}_2\text{O}_3$) with a low softening temperature of $477\text{ }^\circ\text{C}$, but with a composition outside the limits of lead borosilicate glass stability (Beltran et al., 2019).

The composition of the substrate glasses varied along the period mainly due to the innovation in the production processes as the Leblanc methods to elaborate soda ash, or also the Fourcault process to produce glass continuously (Dungworth, 2011). Substrate glasses of different composition were used in the modernist period and workshops might have had problems with specific enamels/substrate glass pairs and a flux might have been added to reduce the firing temperature. However, this practice made the enamels less stable, and although the enamel will soften at a lower temperature, the adherence to the glass substrate is not necessarily improved.

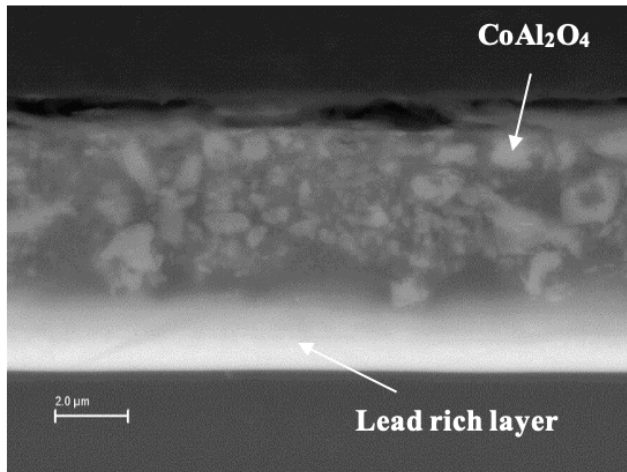


Figure 2. SEM-BSE image with the blue enamel cross section showing the presence of CoAl_2O_4 particles of lower density and the layered structure with a lead rich layer at the enamel/substrate glass interface.

As a colourant, many enamels contain transition metals (copper, manganese, cobalt, chromium) completely dissolved in the glass. In this case they act as fluxes and, consequently, reduce the glass transition temperature and also the softening range. This will produce amorphous enamels with a lower firing temperature, closer to the maximum firing temperature adequate for the substrate glasses. On the other hand, a large variety of pigment particles and colourants were identified during the enamels analysis. The purple pigment is a tin rich suspension of small “drops” of gold or gold-silver nanoparticles of approximately 10 nm commonly known as purple of Cassius. Different pigments/colourants have been identified in the green enamels as cochromite particles, a spinel of cobalt and chromium together with yellow lead antimony-tin oxide particles with a pyrochlore structure, Cu^{2+} ions dissolved on the glass and tetrahedrally linked Co^{2+} and Cr^{3+} ions. Finally, all the blue enamels contain cobalt either as particles of cobalt aluminate with a spinel structure or as tetrahedrally linked Co^{2+} ions. The addition of SnO_2 associated to the increase of the opacity was also detected in some of the analysed enamels (Weyl, 2016; Beltran et al., 2020).

The microstructural study by means of SEM-EDS and μ -XRD of the green and blue enamels also showed that the presence of some pigment particles with a density lower than that of the enamel glass resulted in the formation of a layered microstructure, with a lead poorer surface layer containing pigment particles over a lead rich layer (~54 % PbO and negligible amounts of B_2O_3) near the substrate glass as shown on Figure 2. This phenomenon was particularly pronounced in the blue and green enamels that contain cobalt and cobalt-chromium aluminate spinel particles. Nevertheless, it also

affects the purple enamels which show a cloudy gold-tin rich and lead poorer external layer (Beltran et al., 2020).

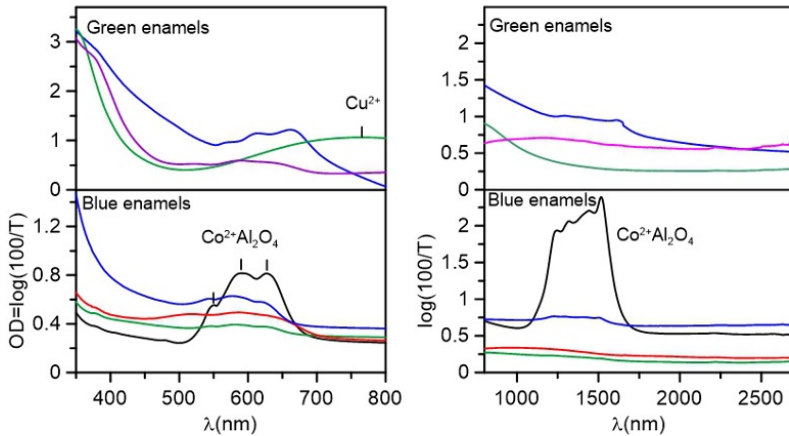


Figure 3. At left UV-VIS spectra taken in transmission mode from the blue and green enamels showing the triple absorption band of Co^{2+} and the NIR enhanced band of Cu^{2+} on green enamels. At right their NIR spectra showing the enhanced NIR absorption of CoAl_2O_4 on blue enamels.

The cobalt ions either present in the spinel blue pigment particles or as tetrahedrally linked Co^{2+} in the glass are responsible for an enhanced absorption in the red and in the Near Infrared regions. Other chromophores such as Cu^{2+} , Fe^{2+} and Mn^{3+} also absorb in the NIR range as shown on Figure 3. They are present in some green and purple enamels. This enhanced absorbance in the NIR range of particles and ions would be responsible for the increase in the overall temperature of the enamel submitted to solar irradiation, as well as for the thermal mismatch between pigment particles, enamel glass and substrate glass. Thermal stresses will cause the formation of

cracks due to the mismatch in the thermal expansion coefficients, and a faster/greater deterioration of the enamels. Consequently, it could account for the specific enhanced corrosion shown by some blue and green enamels and some grisailles (Beltran et al., 2020; Palomar et al., 2019).

The study of the kept in site stained glasses, and in particular those produced by Rigalt, Granell & cia which could be compared to the unaltered materials, have revealed that the whole thickness of the enamels appears affected by atmospheric corrosion. The enamels show important lead, boron and zinc losses and the formation of a hydrated silica-rich fragile glass with a low chemical stability. Subsequently corrosion products detected by means of SEM-EDS and

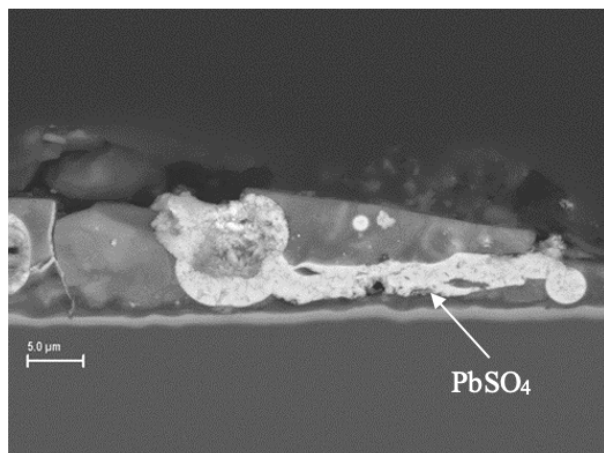


Figure 4. SEM-BSE image with the kept in site purple enamel on the Palau de Justícia de Barcelona panel made by the Rigalt, Granell & cia workshop, showing the cracks made by the formation of $PbSO_4$ precipitates.

μ -XRD as shown on Figure 4, mainly of insoluble lead, sodium and calcium carbonates and sulphates, are formed in the cracks around the particles and inside the bubbles and forming layers on the surface in those more heavily corroded enamels, a white crust responsible for the low colour saturation and increased opacity of some of the enamels (Beltran et al., 2021).

4. Conclusions

The importance of analytical methods applied to the study of modernist stained glass has been demonstrated. The study of the samples produced by the most prestigious modernist glazier workshops has revealed that the used enamels are lead-zinc borosilicate glass mixed with a large variety of pigment particles and colourants.

Exposure to humidity, pollutant gases and solar irradiation was found to be the main cause of corrosion of the painted surfaces. In particular the layered microstructure generated in some of the enamels appeared to be more prone to alteration. The enamels containing pigment particles concentrated near the surface (blue and green enamels containing cobalt spinel compounds and purple enamels containing a co-precipitate of gold and tin) appeared more corroded than enamels that were completely amorphous.

The combination of the layered microstructure and the high absorption in the NIR may be responsible for the enhanced alteration that has been widely described in relation to the blue and green enamels. The natural corrosion expected to happen in all the enamels due to weathering conditions and cleaning (mainly water corrosion) is more substantial in the layered enamels, at the same time that solar

irradiation increase the thermal induced damage. Consequently, in order to improve the conservation of the enamelled window glass, a protection from humidity and atmospheric gasses should also be accompanied by a filter of infrared light, of particular importance in Mediterranean climates.

The results obtained have unveiled relevant information on the causes of deterioration and laid a path for the future conservation of this element of the cultural heritage. The success of this study underlines the importance of preserving the historical workshop materials, developing a strategic sampling of materials, keeping craftsmanship knowledge which, together with the strength of cross-field collaboration helped to improve the current state of knowledge.

Acknowledgements

We are grateful to the J.M. Bonet workshop for the supplied materials and support and the funds received from Ministerio de Ciencia e Innovación (Spain) project MAT2016-N0748719-R and Generalitat de Catalunya project 2017 SGR 00042.

References

- Beltran, M., Brock, F., & Pradell, T. (2019). Thermal properties and stability of Catalan Modernist blue and green enamels. *Int. J. Appl. Glass Sci.*, 10, 414-425. <https://doi.org/10.1111/ijag.13098>
- Beltran, M., Schibille, N., Brock, F., Gratuze, B., Vallcorba, O., & Pradell, T. (2020). Modernist enamels: composition, microstructure and stability. *J. Europ. Ceram. Soc.*, 40, 1753-1766. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.11.038>
- Beltran, M., Schibille, N., Brock, B., Vallcorba, O., Bonet, J., & Pradell, T. (2021). Composition, microstructure and corrosion mechanisms of Catalan Modernist enamelled glass. *Journal of the European Ceramic Society*, 41, 1707-1719. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.10.041>

- Dungworth, D. (2011). The value of Historic window glass. *The Historic Environment*, 2(1), 21-48. <https://doi.org/10.1179/175675011X12943261434567>
- Gil, N. (2019). La decoración con vidriera artística en el mueble doméstico modernista catalán. *Virtuosisme Modernista. Tècniques del moble. Associació per a l'Estudi del Moble i Museu del Disseny de Barcelona*, 131-147.
- Machado, A., & Vilarigues, M. (2018). Blue enamel pigment—Chemical and morphological characterization of its corrosion process. *Corros. Sci.*, 139, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.05.005>
- Mazurin, O. V. (2007). Problems of compatibility of the values of glass transition temperatures published in the world literature, *Glass Phys. Chem.*, 33(1), 22–36. <https://doi.org/10.1134/S108765960701004X>
- Palomar T., Silva, M., Vilarigues, M., Cardoso, P., & Giovannacci, D. (2019). Impact of solar radiation and environmental temperature on Art Nouveau glass windows. *Herit. Sci.*, 7, 82. <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0325-3>
- Pradell, T., Murcia, S., Ibáñez, R., Molina, G., Liu, C., Molera, J., & Shortland, A. J. (2016). Materials, techniques and conservation of historic stained glass “grissailles”. *Int. J. Appl. Glass Sci.*, 7, 41-58. <https://doi.org/10.1111/ijag.12125>
- Schalm, O., Van der Linden, V., Frederick, P., Luyten, S., Van der Snickt, G., Caen, J., Schyvers, D., Janssens, D., Cornelis, E., Van Dyck, D., & Schreiner, M. (2009). Enamels in stained glass Windows: Preparation, chemical composition, microstructure and causes of deterioration. *Spectrochimica Acta B*, 64, 812-820. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2009.06.005>
- Vila-Grau, J., & Rodon, F. (1982). *Els vitrallers de la Barcelona modernista*. Barcelona: Edicions Polígrafa, S.A.
- Vilarigues, M., Machado, C., Machado, A.; Costa, M., Alves L.C., Cardoso, I.P., & Ruivo, A. (2020). Grisailles: Reconstruction and characterization of historical recipes. *Int. J. Appl. Glass Sci.*, 1-18. <https://doi.org/10.1111/ijag.15793>
- Weyl, W. A. (2016). *Coloured glasses*. Society of Glass Technology, Sheffield.

LA RELACIÓ AMB LA NATURA EN EL DISSENY D'UN PACKAGING PER A E-COMMERCE

Sílvia Escursell

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group

Pere Llorach-Massana

Elisava, Escola Universitària de Disseny i Enginyeria de Barcelona

M. Blanca Roncero

CELBIOTECH_Paper Engineering Research Group

Resum

Com a dissenyadors podem aportar una visió més holística a l'hora de repensar en nous materials i processos de producció pel packaging d'e-commerce. És per aquesta raó que l'estudi de la natura i la relació amb ella ens ajuden a pensar en una cultura regenerativa i de co-disseny per així assolir noves propostes innovadores i més integrades en el sistema pel benefici de tots. En aquest article farem un repàs de la visió racionalista i així com des d'una perspectiva més conscient i irracional, i com aprendre de la natura ens aporta noves relacions i enteniments més profunds tant de reconeguts científics, com també de la nostra pròpia experiència del dia a dia amb ella. No tan sols per a què sigui més sostenible, sinó anar més enllà i que ens ajudi a desenvolupar sistemes cíclics que s'integrin als sistemes biològics. A partir d'aquí, es pot argumentar el tipus de materials que hem d'utilitzar i la manera com els hem de treballar per optimitzar-ne la compatibilitat amb sistemes més complexos.

Abstract

As designers we can bring a more holistic vision when rethinking new materials and production processes for e-commerce packaging. For this reason, the study of nature and the relationship with it help us to think in a regenerative and co-design culture in order to achieve new innovative and more integrated proposals in the system for the benefit of all. In this paper we will take a look at the rationalist view as well as from a more conscious and irrational perspective, and how learning from nature brings us new relationships and deeper understandings both from recognised scientists, as well as from our own day-to-day experience with it. Not just to make it more sustainable, but to go further and help us develop cyclical systems that integrate with biological systems. From here, a case can be made for the type of materials we should use and how we should work with them to optimise their compatibility with more complex systems.

1. Introducció: Racionalisme vs. consciència

Actualment, ens trobem en una època que, com bé molts autors han esmentat (Lipps et al., 2019; Mirande & Henchoz, 2014; Oxman et al., 2015) és un moment molt important tant pel desenvolupament de nous materials, com d'innovacions i en tecnologia. Cal destacar també l'evolució d'un pensament pròpiament racional, provinent de mentalitats com Descartes en els segles XVII i XVIII que ha perllongat amb el pas del temps, així com de les revolucions humanes amb la intenció de dominar la natura. Cap a finals del s. XX i ara com ara en el s. XXI hi ha hagut, però, un canvi de mentalitat més conscient i la necessitat de reconnectar amb la natura per aconseguir més harmonia.

És per aquesta raó que noves disciplines com la biomimesi, el biodisseny, o la biònica comencen a prendre un paper important en com entendre i estudiar amb o des de la natura en el camp del disseny i de l'enginyeria. En el cas de la ciència, neurobiòlegs com (Mancuso, 2017) o experts en ecologia forestal com (Simard, 2021) ens aporten

informació clau per entendre els comportaments del món vegetal com a paradigma de la vida actual. Per exemple, la manera en com es comuniquen les plantes i s'ajuden entre elles d'una manera més horitzontal i col·lectiva, amb el poc consum d'energia que utilitzen, remarcant la seva fortalesa i la intel·ligència que comparteixen. O bé, la biòloga Lynn Margulis (Margulis, 2003; Margulis & Sagan, 1996) que va estudiar la simbiosi dels bacteris, és a dir, la col·laboració entre aquests per beneficiar-se en el seu desenvolupament vital. O James Lovelock junt amb la mateixa Dra. Margulis que van desenvolupar la hipòtesi de Gaia, a on van demostrar que per entendre la Terra és necessari estudiar les ciències de la vida i veure-la com un sistema interactiu d'éssers vius (Lovelock, 1983; Margulis, 2003). Malgrat tot, les seves teories revolucionàries, no s'han acabat d'entendre en el camp de la ciència i han estat criticats. Però, també podem dir que gràcies a aquestes hipòtesis, des del disseny les podem estudiar amb detall per aplicar tant en els materials com en el packaging.

En l'actualitat noves pràctiques van més enllà de la sostenibilitat, i ja es parla de la cultura regenerativa i el disseny sistèmic. És a dir, aconseguir una innovació transformadora mitjançant una visió més holística i en col·laboració amb diferents entitats. Per assolir-ho cal fer un estudi ben profund de nosaltres i del sistema en el qual vivim i fer les preguntes necessàries per obtenir una visió crítica i poder trobar noves propostes de disseny (Capra, 2010; D. Meadows et al., 2004; D. H. Meadows, 2009; Wahl, 2020).

És per aquesta raó que plantegem, com a hipòtesi, una proposta de diferents materials, uns basats en plantes, i un altre en bacteris, estudiant i observant què passa, tant amb aquests materials com en la natura, des del punt de vista del seu creixement, la seva cura i les

seves propietats físiques. També la capacitat de qüestionar-nos tot, de basar-nos tant en l'observació de la natura i la relació amb ella, de trobar un equilibri entre la part racional i inconscient i la part irracional i conscient, per així buscar alternatives al que s'està fent actualment.

2. Biodisseny, biònica i biomimesi

La natura ens ha demostrat que pot optimitzar recursos i energia, trobant un equilibri entre la forma, la matèria i funció i sense generar residus. De fet, artistes com Leonardo da Vinci (Frosini & Nova, 2015) ja es van dedicar a observar i estudiar la natura com a punt d'inflexió en els seus dissenys i pintures. O bé els minuciosos treballs d'il·lustracions per als seus estudis d'invertebrats com les meduses, radiolaris entre altres, del naturalista d'Ernst Haeckel (Ginsberg et al., 2017). Com també cal destacar el llibre de *Growth and Form* (Thompson, 1942) que es basa en les matemàtiques aplicades a la natura i precisament estudia aquest equilibri de les formes. I, en el nostre camp, com és el del disseny gràfic, (Munari, 2016) busca les formes orgàniques de la natura per aplicar en els seus dissenys a més a més de voler saber com es defineixen, i experimentar amb elles.

Certes disciplines com la biònica, una noció desenvolupada a Europa, es basa a aprendre de la natura per a copiar la seva funció (Grijalva, 2019). I, la biomimesi, concepte dut a terme per Janine Benyus als Estats Units, es dedica a observar i estudiar la natura com a fons d'inspiració per a llavors aplicar-ho tant en la forma com en la funció, i com ara en desplegar tecnologies de baix cost.

I, és que hem de tenir en compte que per la fabricació de materials com ara l'acer, el ciment o fins i tot la tecnologia fotovoltaica a partir

de la sílice es necessiten unes infraestructures amb uns costos d'energia i processos molt elevats. En canvi, si analitzem la natura i aprenem d'ella, podem aconseguir materials amb costos més baixos i amb major eficàcia. Hi ha empreses que s'han basat a investigar la fotosíntesi de les plantes com a materials renovables utilitzant temperatura i pressió ambient per obtenir "cèl·lules solars sensibilitzades amb tints". O altres grups d'investigació han obtingut un material sintètic molt similar a la tela d'aranya amb unes característiques de tracció molt semblant a l'acer i la flexibilitat d'una goma, però sense la necessitat de treballar a altes temperatures. Tots aquests processos permeten un canvi de patró cap a una tecnologia neta i verda, i va més enllà de la sostenibilitat, perquè és moment de començar a pensar com a una cultura regenerativa (Wahl, 2020).

Més enllà de la biònica o la biomimesi hi ha la disciplina del biodisseny, a on els dissenyadors, treballen directament amb organismes vius com ara bé bacteris, o miceli, entre altres, per així aconseguir nous materials o noves formes de producció a on ja no és una mera observació i inspiració de la natura, sinó que la interconnexió amb aquests éssers vius és una experiència que aporta un aprenentatge viu i que ha de ser des de la cura (Myers, 2012).

Val a dir que la tendència en disseny és cada vegada anar cap a una col·laboració i connexions més amplia amb altres entitats (siguin persones d'altres disciplines o com també altres éssers vius). Per això el disseny sistèmic té una visió holística per afrontar millor la complexitat de la societat actual (D. H. Meadows, 2009), en comptes de tenir una visió més reduccionista enfocant-se en tan sols treballar per parts o d'una manera individual, com ha estat més pròpia en la filosofia de la Bauhaus. Aquesta manera de treballar no és ni millor ni

pitjor, és una alternativa per a poder pensar en unes dinàmiques més interconnectades i amb unes relacions més properes per aconseguir projectes més sostenibles (Rothenberg, 2012). Això ens duu a pensar en el co-disseny amb altres disciplines com ara la ciència i el camp de les humanitats per a ser més ètics, però també co-dissenyar amb la natura, com una altra entitat viva, per així entendre millor tots els elements al voltant nostre (Capra, 2010).

3. Materials a partir de plantes

En el laboratori de Celbiotech_UPC es treballa bàsicament amb la cel·lulosa i la lignina que s'extrauen de les plantes, aquestes formen part del regne Plantae el qual inclou els arbres, herbes, arbustos, falgueres, molses (plantes terrestres) i algues verdes, però hi ha una tendència cada vegada més habitual en extreure la cel·lulosa també dels residus agrícoles o industrials per obtenir materials més circulars. De fet, la cel·lulosa es considera un dels materials més renovable així com el més abundant i les seves característiques intrínseques permeten assolir unes propietats mecàniques força interessants per a la producció de materials en pla com ara el paper o biofilms (Escursell et al., 2021).

Suzanne Simard i Stefano Mancuso donen molta importància a les plantes i a la interconnexió entre elles. Si ens focalitzem en els arbres, la seva gran estructura d'arrels permet suportar tota la part superior dels arbres, però a més a més aquestes arrels compta amb una relació simbiòtica amb els fongs i és conegut com a micorriza (Simard, 2021).

A la vegada aquesta micorriza tenen unes ramificacions que donen lloc al miceli i aquest encara és capaç d'arribar més enllà que no pas les arrels del mateix arbre, d'aquesta manera permeten que hi hagi

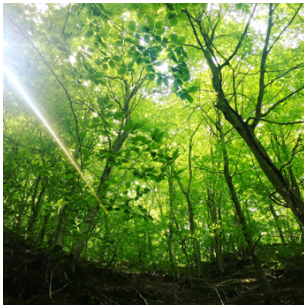
una interconnexió amb altres arrels. Gràcies a aquesta xarxa els fongs poden passar medis i ajuda a comunicar-se entre els arbres (pels atacs de mosquits, o una sequera, entre altres). A més a més, s'ha pogut demostrar que els arbres absorbeixen la llum per aconseguir sucres mitjançant la fotosíntesi. I gràcies a la producció d'aquests sucres poden alimentar alhora al miceli, i fins i tot part d'aquests sucres també van a parar a un arbre o planta que creix en l'ombra i que té menys oportunitat per a sintetitzar sucres. El miceli a canvi li proporciona a l'arbre els nutrients del sòl. Per tant, es pot observar que el que l'afecta a una espècie pot determinar el comportament d'una altra (Simard, 2021).

Les plantes també tenen una tendència a descentralitzar totes les funcions per a poder sobreviure en el cas que li arrenquin una part de la seva estructura (una branca, una part de l'escorça...). I, com que no es mouen del seu lloc han pogut desenvolupar una sensibilitat molt minuciosa en rebre quantitat d'estímul químics i físics com ara la gravetat, la llum, la humitat, els minerals i fins i tot els gasos de l'entorn per a poder respondre degudament (Mancuso, 2017). A partir d'entendre els seus comportaments, obtenim una visió holística per poder pensar en nous materials i la seva producció d'una manera més eficaç i sostenible (D. H. Meadows, 2009).

De fet, si es vol fer un material a partir de plantes com ara bé un paper o un biofilm, es necessita tot un procés de producció i transformació, per tant, implica un cost d'energia (Osong et al., 2016). També cal esmentar que els materials com el paper és reciclable, però no és interessant reciclar-ho força vegades, entre 4 o 7 vegades, perquè les fibres cada vegada són més petites i es perd les propietats mecàniques del material com ara la resistència mecànica (Koskela, 2014). Malgrat

tot, uns últims estudis han permès poder reciclar el cartó per a caixes fins a 25 vegades (Eckhart, 2021).

Per altra banda, els boscos a Catalunya (Figura 1) han incrementat fins a una massa forestal del 64 %, no tan lluny de Finlàndia amb un 66 % (Gracià & Boada, 2022). Això és a causa de la disminució per l'interès de la pagesia i com a conseqüència l'abandonament dels camps de conreu que fa que augmenti aquesta massa forestal, però el cert és que si es fa una bona gestió d'aquests boscos, podem extreure cel·lulosa tant de la tala d'arbres, necessari per mantenir els boscos saludables, com dels residus que es generen en els mateixos boscos de manera sostenible i circular, i alhora que no siguin un focus d'incendis. Segons Martí Boada, científic ambiental i geògraf, 'el bosc és una fàbrica neta' i s'ha de trencar amb la visió urbana que el bosc no es pot tocar i menys tallar (Gracià & Boada, 2022).



(a)



(b)

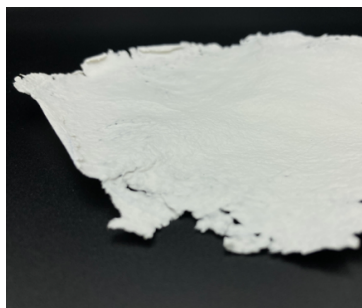
Figura 1. (a) Bosc de primavera, comarca del Vallés Oriental.

(b) Bosc de tardor, comarca del Ripollès.

En el laboratori s'ha aconseguit una interessant varietat de materials amb propietats diferents, que ens aporten duresa i alta resistència com es pot observar en la Figura 2.

Un primer material, s'ha obtingut a partir de matèries primeres verges i més elevat cost de producció, però aportant flexibilitat i alta resistència.

Un segon material utilitzant matèries primeres reciclades i de residus agrícoles a baix cost de producció permet aconseguir un material compacte, dur i molt resistent. Tots dos exemples destaquen pels valors relacionats amb la resistència a la tracció i l'elasticitat. Per tant, tots dos materials són més resistents, però menys elàstics.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Material renovable amb matèries primeres verges com l'eucaliptus i la nanocel·lulosa.
(b) Material renovable i circular obtingut de matèries primeres reciclades com ara paper de diari reciclat, i canemuixa com a residu agrícola.

4. Materials a partir de bacteris

Per altra banda, en el mateix laboratori Celbiotech_UPC també s'aconsegueix cel·lulosa a partir dels bacteris. Tant amb el cultiu del bacteri *Komagataeibacter Xylinus* (*K. Xylinus*) com també a partir de la Kombutxa.

Al llarg de certs mesos ressebrant i cultivant la *K. Xylinus* (Figura 3) podem dir que és un bacteri que s'ha de tenir molta cura perquè es contamina ràpidament, i això genera força frustració al llarg del procés d'investigació. Això implica treballar sempre amb campana de flux laminar i estufa perquè no es contaminin i quan es ressebra es mantingui a una temperatura de 28 °C, a més a més d'esterilitzar tots els utensilis amb els quals s'hagin de treballar. Per obtenir gruixos més elevats, s'ha d'alimentar el bacteri amb més glucosa i llevat.



(a) acabada de netejar amb NaOH 1 % a 70°C overnight amb agitació (700rpm);
(b) un cop seca.

En canvi, el cultiu de Kombutxa (Figura 4) a partir de l'Scoby no és tan delicat i no es contamina tan fàcilment, a més a més s'obtenen gruixos molt més interessants com es pot observar en la Figura 4. Però, per una altra banda, no s'aconsegueix una cel·lulosa tan pura i el color queda més marronós, malgrat que es netegi.



Figura 4. Kombutxa, la mostra de l'esquerra acabada de treure del cultiu, mostra de la dreta un cop seca.

Hem de tenir en compte, que extraure la cel·lulosa dels bacteris és força més actual que no pas de les plantes i encara hi ha moltes investigacions que hi estan treballant (Carreño Pineda et al., 2012; Fillat et al., 2018; Rühls et al., 2018; Urbina et al., 2021). Alhora és un plantejament interessant perquè hem de ser conscients que nosaltres estem fets d'un 90 % de bacteris, com bé ho divulga la biòloga molecular, Bonnie Bassler, i per tant és interessant la relació que tenim quan estem cultivant aquests bacteris (Bassler, 2009). La relació implica la cura que hem de tenir per alimentar aquests bacteris. A diferència de les plantes, aquests bacteris no poden generar per ells mateixos la glucosa, i en conseqüència s'han d'alimentar, d'aquesta manera com més en tingui més creix. Ara bé, la glucosa és un producte car, i, en aquest sentit es busca alternatives com residus d'empreses de fruites amb alts continguts de glucosa (Fernández, 2016).

També podem observar que a diferència de les plantes, el procés de producció és diferent, perquè no necessitem un procés de transformació d'aquest material ja que elles mateixes van creixent, en aquest sentit el consum d'energia és menor, a no ser, que es barregi amb altres residus per aconseguir nous materials transformats. També és molt interessant que es pot fer que creixi adoptant la forma final que ens interessi.

Per això podem dir que a partir dels bacteris cultivats en el laboratori s'ha assolit una membrana fina, dura i flexible. Amb uns alts valors d'allargament i de resistència a la deformació. És un material més elàstic i resistent que no pas els materials anteriors que hem obtingut a partir de plantes. Gràcies a aquestes propietats es poden adaptar millor als productes i, per tant, s'entén que tindran menys impacte en el transport i l'excés de materials utilitzats a les caixes. A més a més, cal destacar els processos de cura i seguiment, ja que es tracta d'un organisme viu.

5. Aprendre de la natura

Quan parlem d'una cultura més regenerativa, això implica una relació més estreta amb la natura i un coneixement més profund en l'àmbit personal per transcendir més enllà de l'ego i formar part d'una realitat més gran o d'una totalitat (Wahl, 2020). Com bé hem parlat anteriorment les disciplines de biomimesi i bionica ens permeten aprendre de la natura, i en el nostre cas, experimentar el procés de producció d'un niu de vespes de manera fortuïta ha estat un cas d'estudi summament clau en aquesta investigació (Figura 5).



Figura 5. Detall del vesper desmuntat un cop s'ha tret del lloc per analitzar en el laboratori.

Aquest fet ens ha ajudat a entendre com les vespes són capaces de construir els seus vespers amb la seva pròpia saliva barrejada amb terra i petites fibres de cel·lulosa mastegades, en aquest cas. Altres estudis han demostrat que la composició química i l'estructura varia segons els nius en diferents indrets a conseqüència de la depredació d'altres insectes voladors o formigues, o bé, per un ús econòmic del material. Per tant, s'han trobat vespers amb més aportació de quitina o de proteïna i així aportar més resistència (Erturk & Bagdatli, 2019; Kasuya, 1982). A més a més, el procés de producció ens fa recordar al d'una impressió en 3D, per aquesta raó actualment estem obtenint materials imitant les característiques i els ingredients bàsics que componen aquests vespers, com també el procés d'extrusió amb 3D per aconseguir una forma cilíndrica pel packaging, sense generar minves en la producció com és ara en la producció de capsas de cartó.

Val a dir, que també aportem el vessant de biodisseny, quan co-dissenyem amb éssers vius com ara els bacteris i s'obté una producció més neta.

6. Conclusions

Sovint estem obsessionats a minimitzar l'impacte del disseny en el producte i en el medi ambient. Tanmateix, en aquest article hem vist que és bo ampliar la mirada i veure també quin és l'impacte que el disseny pot tenir en altres éssers vius i viceversa, observar què ens ofereix la natura per tal de millorar els processos de producció. La cura i una bona relació amb l'entorn repercuteixen en una producció més neta i circular, i en assolir un equilibri equivalent al dels ecosistemes estables. Hem analitzat i proposat nous tipus de materials basant-nos en aquesta manera de fer i hem mostrat el potencial que poden tenir en àmbits com la impressió 3D. El nostre proper objectiu és fer una anàlisi del cicle de vida (ACV) d'aquests materials per constatar com aquest canvi d'enfocament pot incidir positivament en el packaging per e-commerce.

Agraïments

Aquesta publicació forma part del projecte PID2020-114070RB-I00 (CELLECOPROD), finançat per MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

Referències

- Bassler, B. (2009). *How bacteria "talk."* TED Talk.
- Capra, F. (2010). *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism.* Shambhala.
- Carreño Pineda, L. D., Caicedo Mesa, L. A. C. M., & Martínez Riascos, C. A. (2012). Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. *Ingeniería y Ciencia*, 8(16), 307–335. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.8.16.12>

- Eckhart, R. (2021). Recyclability of Cartonboard and Carton. *Wochenblatt Für Papierfabrikation*, 11(November). <https://www.fibers-in-process.de/epaper/fip/216/epaper/8263/index.html>
- Erturk, O., & Bagdatli, E. (2019). A comprehensive study on nest materials of *Vespa crabro* and *Polistes dominula*: Chemical properties and biological characterization with antioxidant and antimicrobial activity. *Biologia*, 74(7), 797–812. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00209-y>
- Escursell, S., Llorach-Massana, P., & Roncero, M. B. (2021). Sustainability in e-commerce packaging: A review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124314>
- Fernández, J. (2016). *Producción y Caracterización de Celulosa Bacteriana: Nuevos Aislamientos y Medios de Cultivo*.
- Fillat, A., Martínez, J., Valls, C., Cusola, O., Roncero, M. B., Vidal, T., Valenzuela, S. V, Diaz, P., & Pastor, F. I. J. (2018). Bacterial cellulose for increasing barrier properties of paper products. *Cellulose*, 25(10), 6093–6105. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1967-0>
- Frosini, F. & Nova, A. (2015). *Leonardo Da Vinci on Nature*. Knowledge and Representation. Marsilio.
- Ginsberg, A. D., Calvert, J., Schyfter, P., Elfick, A., & Endy, D. (2017). *Synthetic Aesthetics. Investigating Synthetic Biology's Designs on Nature*. The MIT Press.
- Gracià, O., & Boada, M. (2022). *Tenim massa boscos?* *Sàpiens*, 245.
- Grijalva, S. F. (2019). *La naturaleza del embalaje*. Debate.
- Kasuya, E. (1982). Central place water collection in a Japanese paper wasp, *Polistes chinensis antennalis*. *Animal Behaviour*, 30(4), 1010–1014. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(82\)80189-9](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(82)80189-9)
- Koskela, S. (2014). Reusable plastic crate or recyclable cardboard box? A comparison of two delivery systems. *Journal of Cleaner Production*, 69, 83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.045>
- Lipps, A., McQuaid, M., Condell, C., & Bertrand, G. (2019). *Nature: Collaborations in Design*. Cooper Hewitt, Smithsonian Design Museum.
- Lovelock, J. E. (1983). *Gaia, una nueva visión de las vida sobre la tierra*. Hermann Blume Ediciones.
- Mancuso, S. (2017). *El Futuro es vegetal*. Galaxia Gutenberg.
- Margulis, L. (2003). *Una revolución en la evolución*. Col·lecció Honoris Causa Universitat de València.
- Margulis, L., & Sagan, D. (1996). *¿Qué es la vida?* Tusquets editores.
- Meadows, D. H. (2009). *Thinking in Systems*. Earthscan.
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2004). *Limits to Growth*. Chelsea Green Publishing.
- Mirande, Y., & Henchoz, N. (2014). *Design for Innovative Technology. From disruption to Acceptance*. Taylor and Francis Group, LLC.
- Munari, B. (2016). *Diseño y Comunicación Visual*. Editorial Gustavo Gili S.L.

- Myers, W. (2012). *Bio design: nature, science, creativity*. Museum of Modern Art.
- Osong, S. H., Norgren, S., & Engstrand, P. (2016). Processing of wood-based microfibrillated cellulose and nanofibrillated cellulose, and applications relating to papermaking: a review. *Cellulose*, 23(1), 93–123. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0798-5>
- Oxman, N., Ortiz, C., Gramazio, F., & KohlerProf, M. (2015). Material ecology. *CAD Computer Aided Design*, 60, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.05.009>
- Rothenberg, D. (2012). Deep Ecology. *Encyclopedia of Applied Ethics*, December 2012, 738–744. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373932-2.00352-5>
- Rühs, P. A., Storz, F., López Gómez, Y. A., Haug, M., & Fischer, P. (2018). 3D bacterial cellulose biofilms formed by foam templating. *Npj Biofilms and Microbiomes*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41522-018-0064-3>
- Simard, S. (2021). *Finding The Mother Tree. Discovering the Wisdom of the Forest*. Penguin Random House Canada.
- Thompson, D. W. (1942). *On growth and Form*. Cambridge University Press.
- Urbina, L., Corcuera, M. Á., Gabilondo, N., Eceiza, A., & Retegi, A. (2021). A review of bacterial cellulose: sustainable production from agricultural waste and applications in various fields. *Cellulose*, 28(13), 8229–8253. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04020-4>
- Wahl, D. C. (2020). *Diseñando culturas regenerativas*. EcoHabitar Editorial.

DISPOSITIVOS MICROFLUÍDICOS DIGITALES: FUNDAMENTOS DE SU FUNCIONAMIENTO, REQUERIMIENTOS DE FABRICACIÓN Y APLICACIONES

Oriol Caro-Pérez, M^a Blanca Roncero, Jasmina Casals

MICROTECH LAB Research Group

Resumen

El uso de dispositivos microfluídicos digitales (DM) han demostrado ser herramientas muy eficaces para la manipulación de pequeños volúmenes de líquidos de forma precisa o su uso en lentes líquidas que superan en versatilidad a las lentes convencionales. Sin embargo, en la actualidad, la fabricación de estos dispositivos presenta numerosos desafíos, debido en especial al alto impacto medioambiental de los materiales utilizados. Aquí se presenta una breve explicación de los fundamentos de funcionamiento de estos dispositivos, requerimientos en su fabricación y algunas de sus aplicaciones.

1. Introducción

En los últimos años, la práctica clínica ha experimentado un aumento significativo de la cantidad de análisis a realizar, mientras que el volumen de la muestra se ha mantenido constante. Por este motivo, el interés por la manipulación de volúmenes del orden de microlitros para su posterior análisis se ha incrementado de forma significativa. Los dispositivos basados el efecto *electrowetting-on-dielectric* (EWOD) ofrecen una solución a este desafío muy eficaz. La tecnología del

efecto *electrowetting-on-dielectric* (EWOD) permite la manipulación de volúmenes discretos de un líquido (una gota) sobre una superficie, sin necesidad de utilizar canales y/o bombas. El efecto EWOD explica la disminución de la tensión superficial en la inter-fase líquido/sólido de un líquido por la acción de una tensión eléctrica. Las capacidades de estos dispositivos no se dirigen exclusivamente en el campo de los análisis, ya que la posibilidad de manipulación de líquidos permite su aplicación en la óptica, creación de superficies auto-limpiables o incluso funcionalización de superficies.

La fabricación de los dispositivos DM involucran 3 capas funcionales sobre un sustrato. Estas capas son: capa conductora, capa dieléctrica y capa hidrofóbica. Cada una de las capas cumple una función importante en el dispositivo. La capa eléctrica tiene la función de conducir la tensión eléctrica y distribuir las cargas que provocarán el cambio en la tensión superficial del líquido. Por otro lado, la capa dieléctrica evitará que se provoque un corto-circuito, ya que la gota pone en contacto los electrodos entre sí. Finalmente, la capa hidrofóbica proporciona que se presente el mayor ángulo de contacto del líquido sobre la superficie, para que la disminución de la tensión superficial del líquido provoque mayor magnitud de cambio.

2. Configuraciones de dispositivos EWOD

Existen tres configuraciones diferentes: convencional, placas paralelas y placas coplanarias [1].

La configuración convencional (Figura 1a) está formada por una única placa conductora en la superficie del dispositivo con un electrodo superior. Es una configuración ideal para el uso de lentes ópticas líquidas, ya que no requieren que el líquido se desplace a través de la

superficie, sino que simplemente cambie el ángulo de contacto que presenta para así cambiar la distancia focal.

En las configuraciones de placas paralelas y placas coplanarias, se permite el desplazamiento de las gotas sobre una superficie. En la configuración de placas paralelas (Figura 1b), existen dos placas, una superior con un único electrodo cubriendo toda la superficie y otra placa inferior, con diferentes electrodos que se van conectando para desplazar la gota con su potencial. En esta configuración se permite la manipulación de las gotas de forma precisa, permitiendo realizar operaciones como fusión/fisión de gotas o mezclas de líquidos. En la configuración placas coplanarias, en cambio, es una sola superficie por donde se desplaza la gota, gracias al accionamiento de diferentes electrodos adyacentes entre ellos (Figura 1c).

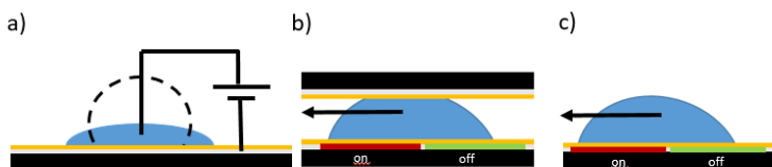


Figura 1. (a) Configuración convencional, común en dispositivos ópticos
(b) Configuración placas paralelas (c) Configuración placa coplanaria.

Fuente: Elaboración Propia.

La configuración placas paralelas y placa coplanaria son muy similares, sin embargo, la configuración placas paralelas, sufre más fuerza de fricción, al tener dos placas en contacto con la gota, reduciendo su rendimiento.

3. Concepto teórico de funcionamiento

El comportamiento de una gota sobre una superficie fue descrito por Thomas Young [2], donde se describe el comportamiento de la gota de agua sobre una superficie como el equilibrio entre las energías de las interfaces líquido-aire, líquido-sólido y sólido-líquido. En el momento en que se aplica un campo eléctrico, se acumula una capa de iones en el líquido con carga opuesta al potencial eléctrico. La fuerza electrostática resultante del potencial eléctrico y la capa de iones con carga opuesta, tira de los extremos de la gota hacia afuera, provocando una disminución del ángulo de contacto que se observa en la zona de las tres interfaces, conocida como interfaz trifásica. Este comportamiento viene explicado por la ecuación Lippmann-Young [2]:

$$\cos\theta_v - \cos\theta_0 = \frac{C}{2\gamma}V^2 \quad (1)$$

Donde θ_v y θ_0 son el ángulo de contacto bajo el campo eléctrico y sin él, respectivamente.

La capacitancia del dispositivo es C , γ es la tensión superficial del líquido y V el voltaje del potencial eléctrico.

Como se ha descrito, el dispositivo está formado por una capa eléctrica y otra capa dieléctrica, por lo que se puede deducir que el comportamiento del dispositivo EWOD se describe como un condensador. La distribución de las cargas en el condensador provoca los cambios en el ángulo de contacto, por lo que la capacidad del dispositivo para manipular un líquido depende directamente de las características de este condensador. La capacitancia dependerá de los materiales y las características de la capa dieléctrica, como se puede observar en esta fórmula (2):

$$C = \epsilon_0 \epsilon_d \epsilon_h \frac{A}{\epsilon_d t_d + \epsilon_h t_h} \quad (2)$$

Donde ϵ es la constante dieléctrica del espacio vacío (ϵ_0), capa dieléctrica (ϵ_d) y capa hidrofóbica (ϵ_h). t es el grosor de la capa dieléctrica (t_d) y capa hidrofóbica (t_h). El área total de la superficie donde se proyecta el electrodo viene definida como A .

4. Materiales de Fabricación

Los dispositivos DM están formados por 4 capas: 3 de ellas funcionales y el sustrato.

4.1. Sustrato

El sustrato es el soporte donde se asientan las 3 capas funcionales del dispositivo. No necesita materiales en especial para cumplir su función. La única limitación que se puede encontrar en los materiales usados es que debe reunir las características necesarias según la función del propio dispositivo y que sean compatibles los materiales entre sí. Por ejemplo, si un dispositivo tiene como finalidad el uso como lente óptica líquida, el sustrato debe ser transparente, con el propósito de no afectar a la función de la lente óptica. Por otro lado, si un dispositivo DM debe ajustarse a una superficie curva, el sustrato debe ser flexible.

4.2. Capa eléctrica

Los materiales para formar los electrodos son múltiples, ya que el único requerimiento que ha de cumplir es la conductividad de la corriente eléctrica. No obstante, hay que tener en cuenta los métodos

de fabricación de estos electrodos, ya que la elección de un método u otro puede afectar al material utilizado [1]. Se pueden generar electrodos por métodos de serigrafía, deposición química o impresión a chorro de tinta [3]. El método no afecta a la aplicación del dispositivo, pero sí debe adaptarse al sustrato que se utiliza y a los métodos disponibles en el lugar de fabricación del dispositivo. Zonas rurales o zonas catastróficas [3], pueden ser lugares con gran demanda de estos dispositivos, pero sus recursos limitados pueden afectar a los métodos de fabricación. Los métodos más comunes en esos casos son la impresión a chorro de tinta y la serigrafía con tintas de nano-partículas de metales conductores, como la plata y el oro.

Otro dato importante a tener en cuenta es la propia geometría de los electrodos. La geometría de los electrodos es una variable importante según la aplicación del dispositivos EWOD [5]. Según si el propósito del dispositivo es fusionar gotas y/o dividir las, mover en una sola dirección o en múltiples direcciones, el diseño de la geometría de los electrodos es diferente [7], siendo algunas configuraciones más óptimas o plenamente funcionales que otras. Jain, V et al. presentaron un estudio con electrodos de diferentes geometrías donde se apreciaba diferencias significativas en la velocidad a la que se desplazaba la gota sobre la superficie, surgiendo la geometría del borde en zig-zag como la más efectiva [5].

4.3. Capa dieléctrica

La presencia de la capa dieléctrica entre el electrodo y el líquido conductor produce el efecto de condensador. La capa es crítica para el funcionamiento óptimo del dispositivo DM. Las principales características que debe reunir es tener una constante dieléctrica

elevada y que se posibilite la deposición de una capa lo más fina posible [1]. Como se puede apreciar en la fórmula 2, si la capa dieléctrica tiene una constante dieléctrica elevada (ϵ_d) y un espesor mínimo (t_d), obtendremos una capacitancia elevada (C). Esto aplicado a la fórmula 1, se presentan dos posibilidades: podemos obtener una disminución del ángulo de contacto de la gota mayor, o podemos obtener un cambio en el ángulo de contacto igual con un voltaje inferior. Así, con mayores constantes dieléctricas y espesores menores obtendremos dispositivos DM más óptimos.

Métodos como la deposición química, permiten la formación de capas del orden de nanómetros usando materiales con altas constantes dieléctricas, como el dióxido de silicio (constante dieléctrica 3,7) [6], óxido de aluminio (constante dieléctrica 9,34) [8] y pentóxido de tántalo (constante dieléctrica 71,62) [9]. Pero la deposición química es un método costoso y se necesita instrumentos especializados. Sin embargo, existen métodos más sencillos, como *spin-coating*, que permite incorporar capas dieléctricas de espesor de unos pocos micrómetros de materiales como el polidimetilsiloxano (PDMS) (constante dieléctrica 2) [10] o Sukhoi-8 (SU-8) (constante dieléctrica 3,2) [11]. Este método facilita la fabricación de los dispositivos, pero puede reducirse la eficiencia del dispositivo, obligando a utilizar voltajes mayores.

4.4. Capa hidrofóbica

El movimiento de la gota en la superficie del dispositivo se produce cuando el desequilibrio de fuerzas entre la línea de contacto en el electrodo conectado y la línea de contacto en el electrodo no conectado supera las fuerzas de arrastre o adhesión de la gota sobre la superficie.

Por este motivo es necesario incorporar una capa hidrofóbica, que presente muy poca energía superficial. Los materiales más comunes en esta capa son los fluorados, como el Teflón y el Cytop. Estos materiales, además, permite su incorporación al dispositivo con métodos sencillos como *spin-coating*, consiguiéndose espesores tan pequeños que son despreciables en la fórmula 2 de la capacitancia [12].

Sin embargo, estos materiales tienen un gran impacto medioambiental. Es interesante ampliar las investigaciones para usar materiales que tengan una huella medioambiental más limitada, ya que uno de los principales usos de estos dispositivos son los análisis clínicos, donde se emplearían dispositivos de un solo uso para evitar contaminaciones cruzadas entre muestras. En la actualidad, la alternativa más usada es el PDMS o lubricación de la superficie con diferentes lubricantes.

5. Aplicaciones de los dispositivos EWOD

En la actualidad ya existen dispositivos DM comercializados. Los dispositivos EWOD convencionales tienen su mercado en el uso de lentes líquidas. Los teléfonos móviles ya utilizan esta tecnología en sus lentes, como por ejemplo el móvil Xiaomi Mi Mix [15]. Por otro lado, la DM tiene un gran interés comercial en dispositivos analíticos y biomédicos. Por ejemplo, el sistema de preparación de bibliotecas NeoPrep de Illumina utiliza microfluidos digitales coplanarios impulsados por EWOD para manipular muestras biológicas [15]. Al margen de los resultados comerciales de estos dispositivos, en la actualidad se está investigando el uso novedoso de dispositivos DM en las siguientes áreas:

5.1. Lentes ópticas líquidas

La manipulación del ángulo de contacto de una gota mediante EWOD afecta al valor de la reflexión de la luz que atraviesa el líquido. Éste permite un desplazamiento de la distancia focal que puede sincronizarse a través de diferentes potenciales eléctricos. Otra de las características que proporcionan las lentes líquidas ópticas flexibles es que pueden adaptarse a cualquier superficie si se han utilizado materiales flexibles en su fabricación [13].

Los dispositivos DM únicamente permiten el cambio de la distancia focal debido a que cambian la forma de la gota sobre una superficie, sin embargo, pueden usarse cámaras de líquido auxiliares que permitan la incorporación de mayor volumen de líquido en la lente óptica [13]. Esto permite incorporar capacidad de aumento en las lentes líquidas.

5.2. Manipulación de cultivos celulares

En la manipulación de cultivos celulares siempre se corre el riesgo de contaminaciones con hongos y/o bacterias. Esto se debe principalmente al uso de instrumentos que, pese a que han sido esterilizados previamente, siempre pueden quedar residuos. El uso de dispositivos DM permite las manipulaciones de cultivos celulares en gotas, permitiendo añadir medio de cultivo sin necesidad del uso manual de instrumentos. Un ejemplo de ellos se puede apreciar en el trabajo de Li W et al en 2020, en el que se reproduce un protocolo de extracción de DNA libre de un cultivo de células embrionarias con el uso exclusivamente de un dispositivo EWOD [13]. El rendimiento obtenido fue del 23 % frente al 18 % con el protocolo habitual aplicado de forma manual.

5.3. Análisis químicos y biológicos

Como se ha podido apreciar, el uso de dispositivos DM permite la manipulación de sustancias sin necesidad de tener contacto directo con las muestras. Esto no sólo previene la contaminación de las muestras a analizar, sino que evita riesgos derivados de estar en contacto con sustancias nocivas al personal que trabaja en estos análisis. Uno de los ejemplos más significativos que podemos destacar ha sido durante la pandemia de coronavirus 2019 (COVID-19). En un estudio de Jain V et al en 2020 se diseñó una plataforma para el análisis de muestras COVID-19 basada en DM, que permitía depositar muestras, mezclar con los reactivos necesarios y realizar los análisis pertinentes de detección sin necesidad de contacto por parte del personal clínico [14].

6. Conclusiones

Pese a la existencia de dispositivos DM comerciales, en la actualidad queda por solventar diversas limitaciones en estos dispositivos. Estas limitaciones están estrechamente ligadas a la necesidad de usar voltajes elevados y al uso de materiales con alto impacto medioambiental, como el Teflón. Actualmente existen buenos materiales biodegradables y de bajo impacto medioambiental para las capas sustrato, conductora y en menor medida para la capa dieléctrica. La capa dieléctrica sería interesante encontrar materiales biodegradables que tuvieran una constante dieléctrica muy elevada y que permitieran ser incorporados al dispositivo en un grosor menor de lo que ofrece hoy en día el SU-8 o el PDMS, alrededor de 5 micrómetros. El gran desafío tiene que ver con la capa hidrofóbica. El Teflon y/o Cyttop son materiales que están muy asentados en su uso y no hay muchas alternativas que puedan ofrecer el mismo rendimiento.

Existen trabajos en que se usa PDMS como capa hidrofóbica, sin embargo, requiere capas gruesas, del orden de micrómetros, frente a los nanómetros que presenta el Teflon. Las investigaciones deberían girar en torno a estas dos capas con el objetivo de reducir voltajes, alargando la vida útil de los dispositivos y su eficiencia.

Referencias

1. Caro-Pérez, O., Casals-Terré, J., & Roncero, M. B. (2022). Materials and Manufacturing Methods for EWOD Devices: Current Status and Sustainability Challenges. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2200193. <https://doi.org/10.1002/mame.202200193>
2. Berthier, J., Dubois, P., Clementz, P., Claustre, P., Peponnet, C., & Fouillet, Y. (2007). Actuation potentials and capillary forces in electrowetting based microsystems. *Sensors and Actuators A: physical*, 134(2), 471-479. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2006.04.050>
3. Ugsornrat, K., Pasakon, P., Karuwan, C., Sriprachubwong, C., Maturros, T., Pogfay, T., & Tuantranont, A. (2019). Low-cost and disposable electrowetting-on-dielectric lab on a chip with an integrated electrochemical detector fabricated by screen-printing process. *IEEE Sensors Journal*, 19(19), 8597-8604. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2921789>
4. Son, C., Ji, B., Park, J., Feng, J., & Kim, S. (2021). A magnetically actuated superhydrophobic ratchet surface for droplet manipulation. *Micromachines*, 12(3), 325. <https://doi.org/10.3390/mi12030325>
5. Jain, V., Devarasetty, V., & Patrikar, R. (2017). Effect of electrode geometry on droplet velocity in open EWOD based device for digital microfluidics applications. *Journal of Electrostatics*, 87, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.jelstat.2017.02.006>
6. Khan, I., Castelletto, S., & Rosengarten, G. (2018). Deposition method and performance of SiO₂ as a dielectric material for beam steering electrowetting devices. *Materials Research Express*, 5(7), 076304. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aad010>
7. Ohya, C., & Konishi, S. (2018, January). Droplet height control by electrowetting-on-dielectric for selective contact fusion of droplets on facing substrates. In *2018 IEEE Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)* (pp. 1201-1204). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEMSYS.2018.8346778>
8. Ribet, F., De Pietro, L., Roxhed, N., & Stemme, G. (2018). Gas diffusion and evaporation control using EWOD actuation of ionic liquid microdroplets for gas sensing applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 267, 647-654. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.04.076>

9. Chen, S., & Kim, C. J. (2019). Counterbalanced Valve Metal Oxide as a Reliable Dielectric Layer for Electrowetting-on-dielectric Devices. *Sensors and Materials*, 31(9). <https://doi.org/10.18494/SAM.2019.2449>
10. Li, J., & Kim, C. J. (2019, January). Electrodeposition on Transparent Substrate: Device Fabrication and Demonstration. In *2019 IEEE 32nd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)* (pp. 180-181). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEMSYS.2019.8870871>
11. Ciou, Y. J., Lee, H. T., Lin, Y. W., & Yao, D. J. (2020). Microfluidic patterning using a digital microfluidic system. *AIP Advances*, 10(12), 125115. <https://doi.org/10.1063/5.0012684>
12. Li, C., & Jiang, H. (2014). Fabrication and characterization of flexible electrowetting on dielectrics (EWOD) microlens. *Micromachines*, 5(3), 432-441. <https://doi.org/10.3390/mi5030432>
13. Walther, A., Desloges, B., Lejoste, C., Coster, B., Audebert, P., & Willemin, J. (2013). Development of a 3D capacitive gyroscope with reduced parasitic capacitance. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 23(2), 025013. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/23/2/025013>
14. Vandana, J., & Muralidhar, K. (2020). Electrowetting-on-dielectric system for COVID-19 testing. *Transactions of the Indian National Academy of Engineering*, 5(2), 251-254. <https://doi.org/10.1007/s41403-020-00113-x>
15. Li, J. (2020). Current commercialization status of electrowetting-on-dielectric (EWOD) digital microfluidics. *Lab on a Chip*, 20(10), 1705-1712. <https://doi.org/10.1039/D0LC00144A>

LOCATE: PREDICTION OF PLASTIC HOTSPOTS IN COASTAL REGIONS USING NUMERICAL SIMULATIONS IN A COUPLED SYSTEM

Ivan Hernandez

Laboratorio de Ingeniería Marítima. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

José María Alsina Torrent

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Resumen

Los mecanismos de transporte de basura marina flotante en zonas costeras no se conocen bien, y su seguimiento con modelos numéricos es complejo debido a la geometría, procesos hidrodinámicos y la influencia de los procesos costeros, con estos últimos siendo especialmente complicados de incorporar. La herramienta LOCATE fue desarrollada para simular el movimiento y la acumulación de partículas de plástico en zonas costeras, usando mallas anidadas de diferentes resoluciones y escalas espaciales (2,5 km, 350 m y 70 m) para tener en cuenta los procesos costeros. La herramienta LOCATE acopla datos hidrodinámicos eulerianos con un modelo lagrangiano, requiriendo configuración y optimización para un funcionamiento adecuado. El modelo ha sido aplicado a la costa de Barcelona donde la geometría de costa y procesos costeros pueden actuar como acumuladores de basura y las concentraciones encontradas son comparables a otras zonas altamente contaminadas.

Abstract

Transport mechanisms of floating marine litter (FML) in coastal zones are poorly understood. Tracking FML dispersion with numerical models is complex due to the geometry, hydrodynamic processes and the influence of coastal processes, the latter being especially challenging to incorporate. The LOCATE tool was developed to simulate the motion and accumulation of plastic particles in coastal areas, using nested grids of varying spatial scales and resolutions (2.5 km, 350 m and 70 m) to account for coastal processes. LOCATE couples Eulerian hydrodynamic data with a Lagrangian particle solver, thus requiring configuration and optimization. As proof of concept, the model has been applied to the Barcelona coastline where the coastal geometry and processes can behave as marine litter traps and concentrations are comparable to some other heavily polluted areas.

1. Introduction

Coastal regions can be heavily impacted by the accumulation of marine litter, affecting ecological resources such as aquatic and terrestrial coastal zone ecosystems, social activities such as recreation and sports and general wellbeing, or economic assets such as tourism and fisheries (Browne et al., 2015). Land-based sources of marine litter such as river discharges and other waterways such as storm and wastewater, are thought to be responsible for the marine litter arriving to coastal zones. Once in the coastal region marine debris may accumulate, return to the emerging beach or move towards the open sea to oceanic accumulation regions (gyres). Although mesoscale circulation transport mechanisms in the open ocean are relatively well known, the motion of plastic particles in coastal regions, beaching, and accumulation or exchange with the open sea are largely unknown (van Sebille et al., 2020).

Coastal transport processes occur in a narrow spatial region close to the shoreline roughly between 50 to 600m, depending on wave energy

and local bathymetry, however, they can be very energetic. Most Lagrangian models of plastic particles do not resolve at these scales or use hydrodynamic inputs that do not consider coastal transport processes complexities (van Sebille et al., 2020). Additionally, the longevity of plastic in the environment and relatively high buoyancy of plastic particles, residence times in coastal environments can be large, potentially travelling long distances (Maximenko, et al., 2012). As a consequence, coastal numerical approaches that focus on small scales with a high spatial discretisation but small spatial domain will experience plastic particles moving outside of the domain boundaries relatively fast especially in energetic conditions.

In the case of the coastal areas of the city of Barcelona the presence of marine litter is well known among the beach users, which has become a frequent observation in many other areas across the world. Recent research, however, has found plastic concentrations in the Barcelona coastal region to be of similar magnitudes to the accumulation regions such as the Pacific and Atlantic gyres. A constant and high marine litter exchange has been suggested between the open sea and coastal regions, and between the emerging beach and the aquatic coastal zone (Sanchez-Vidal et al., 2021). Entry processes such as river discharge, stormwaters, direct release and transport mechanisms such as littoral drift, wave induced currents and particle beaching during storm conditions are considered responsible for high concentrations of marine litter in the region, illustrating that although there is clear evidence of the magnitude of the problem, the accumulation and transport mechanisms are largely unknown in coastal waters.

2. Method

2.1 Hydrodynamic data simulations

The LOCATE model is built by coupling Eulerian hydrodynamic information and the Lagrangian simulation of virtual particles using the hydrodynamic information, thus requiring that the two different submodels be configured and optimised to obtain optimal particle dispersion predictions. Coastal numerical simulations require high spatial coverages to simulate particle exchange between regions and high spatial resolution close to the coastlines to solve coastal processes. These requirements are met with the use of nested simulations which is one of the novel features of LOCATE.

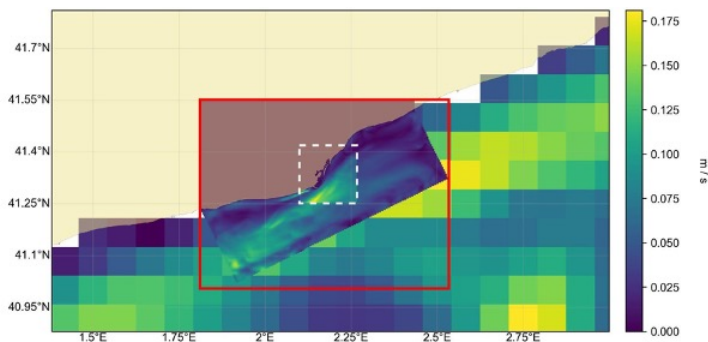


Figure 1. Overall current velocity map in nested hydrodynamic grids showing the coastal grid nested inside the regional domain (red rectangle), and the harbour grid nested inside the coastal grid (inner white dashed rectangle).

Regional Eulerian hydrodynamic simulations are obtained from Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) products whereas coastal hydrodynamic simulations use the open source Coupled Regional Modeling System (COAWST) system

(CMEMS, 2020; Warner, et al., 2010). The Lagrangian solver uses Probably a Really Efficient Lagrangian Simulator OceanParcels (OceanParcels), an open source model (van Sebille, 2020). Nested grids of different spatial scales (small for coastal and large for regional within the same domain) are used with different spatial resolution covering relatively large areas around the coastline with lower spatial resolution nested to smaller grid subsections with higher resolution at the coastline. The grid domains used are:

- Regional domain with a spatial grid size of 2500 m using hydrodynamic data obtained from CMEMS Iberia Biscay Irish – Monitoring Forecasting Centre (IBI MFC).
- Coastal domain with a spatial resolution of 350 m with inputs obtained from the COAWST model scheme which is nested into the regional domain (CMEMS IBI-MFC) and forced by metocean forcing.
- Harbour domain with a typical resolution of 70 m using model inputs obtained from the COAWST model scheme, nested into the coastal domain and forced by metocean forcing.

2.2 Lagrangian particle simulations

The open source numerical model OceanParcels was adapted to work at a regional coastal scale using the hydrodynamic outputs described above. OceanParcels is a Lagrangian model that allows user customisation of the different Python tools available therein to produce simulations of virtual plastic particle movement in space and time. The fundamental concept behind Parcels and any Lagrangian analysis is to integrate the advection equation (van Sebille et al., 2018):

$$\frac{dx}{dt} = u(x, t)$$

where x is the three-dimensional position of a virtual plastic particle in space, t is the time and $u(x, t)$ is the three-dimensional Eulerian flow velocity field. $u(x, t)$ incorporates the net current velocity and a wave induced drift. In Lagrangian particle simulations, diffusive processes can be modelled as a stochastic, random displacement of particle positions as a function of the local eddy diffusivity (van Sebille et al., 2018).

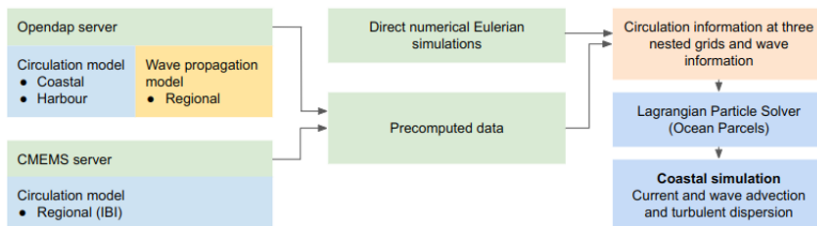


Figure 2. Schematic representation of the coupled LOCATE plastic dispersion model components.

2.3. Study domain and simulation parameters

The simulations were performed focused on a region close to the Barcelona city located around 41.81°N and 40.88°S, and 1.38°W and 3°E. Particles that moved out of the specified boundary (exported) were tagged with an 'out of bounds' particle variable and subsequently deleted from the domain, recording the last known location coordinates and timestamp. For subsequent analysis the coastline was demarcated into 16 zones to register particle beaching. Zones on land were based on current municipal demarcations or prominent features, such as port areas. The simulation period was of

260 days (01-02-2017 to 19-10-2017) with the end of the simulation period being determined by a limitation in data availability for the coastal and harbour domains. The release of particles was based on linearly interpolated observational data provided by Schirinzi, et al., 2020. To determine the efficacy of using nested domain grids the main simulation was duplicated, using the same parameters but without using nested domains, using instead only the regional domain (IBI).

2.4. Particle distance to shore

Particle distance to shore is not natively included in OceanParcels, however, its interpolation capabilities were used to calculate particle distance in real-time during a simulation based on high resolution data of the Catalan coastline available online as a linestring in a shapefile format not including islands or islets, using UTM-31N with Datum ETRS89 as the cartographic reference system using a scale of 1:50000. The minimum distance between each node in each grid and each point in the linestring was calculated using Python tools and data were saved in the same format and with the same dimensions as the hydrodynamic data.

2.5 Stokes drift and diffusion

In LOCATE a Stokes drift module is modelled using hydrodynamic data from the wave propagation model. A diffusion parameter (kh) is added to the model as a constant field for the zonal and meridional component, using a spherical mesh. For all simulations described herein the kh value is 10. When using a constant diffusion parameter, when the advective velocity is zero, particles that are located in land

cells will keep moving due to pure stochastic movement from diffusion. To counter this, however, the beaching module removes the particle when it crosses the land-water boundary.

2.6 Particle beaching parameters

A sensitivity analysis to determine the parameters with which to define beaching was carried out using five different scenarios. The sensitivity analysis was performed in two parts. The first part used the two release points from the Llobregat and Besòs rivers used in the main simulation. The second part was a homogeneous particle release that used release points corresponding to the 152 nodes (out of 240 for the whole domain) on the regional domain that were on sea. In both cases, at each release point, five particles were released every hour for the period 01/03/2017 00:00:00 to 31/03/2017 23:00:00, a total of 3,720 particles from each point. In the first scenario of the sensitivity analysis there were 7,240 particles released per test, in the second scenario there were a total of 565,440 particles released per test. Scenario 1 defines beaching when a particle has a velocity close to 0 ($1e-16$) and as thus is considered stationary. Scenario 2 considers a particle to be beached when it physically crosses the land-water boundary, thus when distance to land is ≤ 0 m.

3. Results

Markers in Figure 3 represent particle release points, with a triangle up marker representing the Llobregat river, a triangle down marker representing the Besòs river, and the plus marker representing nodes on the regional domain for the homogeneous particle release tests.

Beaching rates of the tests of the homogeneous particle release as a control were substantially lower than when released from two points by the Llobregat and Besòs river mouths (87 % to 98 %). Test 1 shows over three times higher residency time than test 2 for release points on the river mouths. This difference is a little over 1.5 times between test 3 and 4 when the particle release was homogeneous. Going forward scenario 2 was selected as the beaching parameter for subsequent simulations.

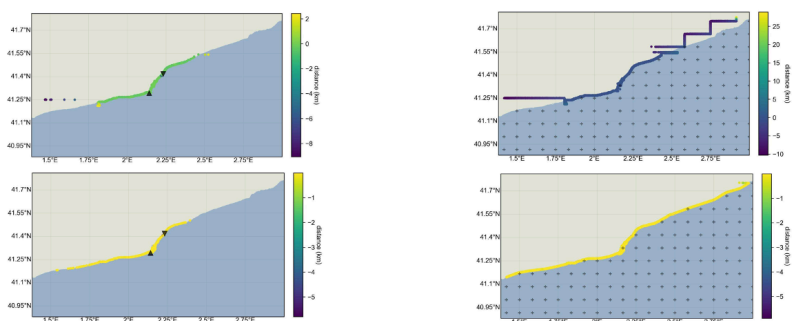


Figure 3. Locations of beached particles for beaching sensitivity tests for all the beaching scenarios with the release points included. Top-left: scenario 1, test 1. Top-right: scenario 2, test 4. Bottom-left; scenario 1, test 3. Bottom-right: scenario 2, test 4.

Test	Scenario	Release points	Beaching %	Residence time (h)	Residence time SEM	Trajectory (km)	Trajectory SEM
1	1	2	87.22	3.25	0.79	3.79	0.98
2	2	2	89.72	1.00	0.65	1.20	0.80
3	1	152	15.58	141.50	0.44	174.38	0.55
4	2	152	19.30	89.67	0.39	111.56	0.48

Table 1. Beaching amount, median particle residence time and median particle trajectory with standard errors (SEM).

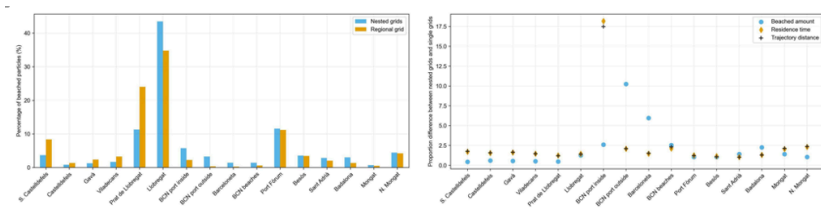


Figure 4a. Beaching amounts per demarcated zone as a percentage of the total amount of beached particles per simulation.

Figure 4b. Differences between the nested grids and regional grid only for beaching amount, residence time and trajectory distance.

There were a total of 552,480 particles simulated over the entire 260 day period. The overall beached amount for the simulation using nested grids was of 91.5 % (8.5 % exported particles), and for the simulation using a single regional grid was of 95.8 % (4.2 % exported particles). There are marked differences within some demarcated zones as seen in Fig 4 with the most notable ones being in the Llobregat river mouth with the nested grid simulation showing 8.8 % more beached particles, whereas the area adjacent to the south, Prat de Llobregat, had 12.7 % more particles from the regional only simulation.

As seen in Figure 4b the amount of beaching is over 10 times higher with the nested grid simulation on the outside of the port area, and 2.5 times higher inside the port area. Barceloneta beach also saw over 6 times as many beached particles with the nested grid simulations and the other city beaches over 2.5 times as many beached particles. While these proportions may seem high, it is worth noting that the amount of beached particles in these areas is lower than other areas such as those around the Llobregat river, where the sizable majority can be found. Residence time and trajectory distance are consistently higher

for the nested simulation with the inside of the port area registering the highest proportion of over 18 times higher values.

4. Discussion

One of the main limitations of predicting plastic dispersion and transport in coastal regions is the time and spatial resolution of the hydrodynamic input data., with the main difficulty being the ability to obtain a higher resolution coastal output incorporating coastal processes. Coarser resolutions may underestimate along-shore and cross-shore fluxes and displacements as well as not offering an accurate representation of the coastal debris transport processes, while higher resolutions (< 100 m) open up transport pathways that allow for rapid alongshore and vertical fluxes (Dauhajre, McWilliams and Renault, 2019, van Sebille et al., 2020). The transport of plastic particles in coastal environments is largely influenced by wave-induced motions. Waves in coastal regions are highly non-linear as a consequence of wave-topography interaction. Depth-induced wave breaking plays an important role in the direct plastic motion (Deike et al., 2017) and indirectly in the induced mean motions (Svendsen, 1984). In a previous LOCATE-report a validation of the wave simulations for two time periods (May-June 2019 and January-February 2020) with field and satellite derived information was presented, showing reasonable agreement between numerical simulations and satellite derived wave height, improving importantly in the coastal domain with respect to the regional domain (Alsina et al., 2020).

Wave-induced Stokes drift is included in LOCATE with data from the wave propagation model although in coastal regions the role of Stokes

drift on the dispersal of marine debris is not yet fully understood. Stokes drift is widely acknowledged to be one of the key components of many simulations of the drift of floating marine debris, with some studies showing possible overestimation of residence time if Stokes drift is not taken into account, as well as a reduction in beached amounts by 6-7 % (van Sebille, et al., 2020; Bosi, et al., 2021; Onink, et al., 2021).

The beaching sensitivity tests did not show marked differences between the different beaching scenarios within the particle release groups, although as expected beaching amounts were much lower in the homogeneous release tests corresponding to the regional domain nodes. Differences were more pronounced, however, when looking at particle residence time at sea and trajectory distance, which tend to be proportionally in tandem. Defining beaching using current velocity alone seems to cause an overestimation of residence time. One possible reason could be that particles close to the shoreline travel greater distances because of the dependency on the resolution of the grids, with the higher standard errors indicating a greater variability. The coarseness of the regional domain can be seen where no nesting of hydrodynamic data occurs, such as in the northern and southern parts of the domain away from the Barcelona port area on the top left map of Figure 3. This is less evident where the resolution is higher, such as areas close to the harbour, where the coastal and harbour grids apply yet there is still a jagged beaching pattern on the coastline in accordance with their respective resolutions on closer inspection. Defining beaching parameters has yet to be agreed between studies, with one recent global scale study having used a temporal and a spatial factor (a particle within 10 km of the shore for a 24 hour time period), although such studies rely on coarse resolution grids to

determine the land-water boundary, and the scales of such studies may not be applicable to smaller scale coastal domains (Onink, et al., 2021). Using the interpolation capabilities of OceanParcels to calculate real-time distance of a particle to shore removes the limitation of the resolution of the hydrodynamic grids.

Recent modelling of marine debris in the Mediterranean Sea has identified the Catalan coast as one of the most polluted where the energetic North Current weakens resulting in debris being trapped in the vicinity (Liubartseva, et al., 2018). Further anthropogenic pressures on the study domain are also sustained from well known land-based litter inputs such as the Llobregat and Besòs rivers. The interpolation of non-continuous observational data may overestimate the actual amount of litter influx into the sea, however, the absence of data on some dates gives confidence that interpolating the observations can be reliable given that peaks for the Llobregat river followed seasonal events whereas the Besòs river did not follow such trends or pronounced variations (Schirinzi, et al., 2020).

Similarly to the beaching sensitivity tests, running a simulation using nested grids versus only the regional grid did not result in large differences in the beaching amount, with a little over 4 % difference. When analysing beaching amounts by demarcated zone, differences can be found south of the Llobregat release point. These zones displayed approximately half the beaching amount with the nested grid simulation than the regional grid only. Areas close to and adjacent to the port area displayed the opposite trend, with the external port area registering up to 10 times more beached particles from the nested grid simulation than the regional grid only which could be explained given the barrier between the inside and outside

port areas. Beaching of virtual particles especially at small spatial scales such as coastal environments is still poorly understood and largely unexplored (Hinata, et al., 2017).

The increased residence time and trajectory distance inside the port area when using the nested grids could be due to the harbour area being resolved using the high resolution harbour grid, the limitation of the entry and exit point with the port having a narrow opening of approximately 560 m and the large perimeter of the shoreline inside the port area. In all zones, however, the residence time and trajectory distance was higher when using nested grids since all of the demarcated zones were covered (even in a small part south of Castelldefels and north of Mongat) by the coastal grid.

5. Conclusion

An open source floating marine plastic dispersion model which could be extrapolated to other coastal regions has been presented. The LOCATE model focuses on the dispersion of floating marine debris mainly in coastal waters and in the continental shelf region close to the coastline, studying the plastic litter exchange from coastal to offshore regions. While there are some shortcomings when simulating at coastal spatial scales, these can be overcome to some degree by nesting grids where possible, especially in areas of interest, such as the Barcelona city area. Beaching rates may not experience major differences when using nested or a regional only hydrodynamic grid overall, however, residence times and trajectory distances are affected by the higher resolutions of the smaller spatial scale grids. The motion of plastic particles reflects a complex transport pattern influenced by the combined influence of waves, current and the coastline

orientation. The detailed influence of wave energy, wave incidence, current intensity, coastline orientation with respect to the wave incidence on particle beaching and particle export to open areas has been studied. Future work could include using a fully coupled wave-current interaction model where wave-induced currents are accounted for, or incorporating beach resolution hydrodynamic domains resolving down to 23 m which is currently being developed by the UPC.

Acknowledgment

The present study has been carried out in the framework of the TRACE (Tools for a better management of marine litter in coastal environments to accelerate the tRAnSition to a Circular plastic Economy) project. TRACE, TED2021-130515B-I00 funded by the MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and the European Union within the “NextGenerationEU”/PRTR.

References

- Alsina, J. M., Liste, M., Mestres, M., Samper, Y., et al. (2020). *Coupling nearshore hydrodynamic models and satellite derived hydrodynamic information. A case study in the Catalan coast* (LOCATE project report).
- Bosi, S., Broström, G., & Roquet, F. (2021). The Role of Stokes Drift in the Dispersal of North Atlantic Surface Marine Debris. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.697430>
- Browne, M. A., Chapman, M. G., Thompson, R. C., Amaral Zettler, L. A., et al. (2015). Spatial and Temporal Patterns of Stranded Intertidal Marine Debris: Is There a Picture of Global Change? *Environ. Sci. Technol.* 49, 7082–7094. <https://doi.org/10.1021/es5060572>
- CMEMS (2022). Copernicus MarineService. <https://marine.copernicus.eu/>
- Chassignet, E. P., Xu, X., & Zavala-Romero, O. (2021). Tracking Marine Litter With a Global Ocean Model: Where Does It Go? Where Does It Come From?. *Frontiers in Marine Science*, 8(April), pp. 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.667591>

- Delandmeter, P., & Van Sebille, E. (2019). The Parcels v2.0 Lagrangian framework: New field interpolation schemes. *Geoscientific Model Development*, 12(8), 3571–3584. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3571-2019>
- Deike, L., Pizzo, N., & Melville, W. K. (2017). Lagrangian transport by breaking surface waves. *J. Fluid Mech.* 829, 364–391. <https://doi.org/10.1017/jfm.2017.548>
- Hinata, H., Moril, K., Ohno, K., Miyao, Y., et al. (2017). An estimation of the average residence times and onshore-offshore diffusivities of beached microplastics based on the population decay of tagged meso- and macrolitter. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.012>
- Liubartseva, S., Coppini, G., Lecci, R., & Clementi, E. (2018). Tracking plastics in the Mediterranean: 2D Lagrangian model. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.019>
- Maximenko, N., Hafner, J., & Niiler, P. (2012). Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters. *Marine Pollution Bulletin*, 65(1–3), 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.04.016>
- Onink, V., Jongedijk, C. E., Hoffman, M. J., Van Sebille, E., et al. (2021). Global simulations of marine plastic transport show plastic trapping in coastal zones. *Environmental Research Letters*, 16(6), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abecbd>
- Puertos del Estado OPeNDAP Catalog (2022). <https://opendap.puertos.es/thredds/catalog.html>
- Sanchez-Vidal, A. Uviedo, O., Higuera, S., Ballesteros, M., et al. (2021). Paddle surfing for science on microplastic pollution: a successful citizen science initiative. *EGU General Assembly 2021*, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-10579, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-10579>
- Schirinzi, G. F., Köck-Schulmeyer, M., Cabrera, M., González-Fernández, D. et al. (2020). Riverine anthropogenic litter load to the Mediterranean Sea near the metropolitan area of Barcelona, Spain. *Science of the Total Environment*, 714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136807>
- Svendsen, I. A. (1984). Mass flux and undertow in a surf zone. *Coast. Eng.* 8, 347–365. [https://doi.org/10.1016/0378-3839\(84\)90030-9](https://doi.org/10.1016/0378-3839(84)90030-9)
- van Sebille, E., Aliani, S., Law, K.L., Maximenko, N., et al. (2020). The physical oceanography of the transport of floating marine debris. *Environ. Res. Lett.* 15, 023003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7d>
- van Sebille, E., Griffies, S. M., Abernathy, R., Adams, T. P., et al. (2018). Lagrangian ocean analysis: Fundamentals and practices. *Ocean Model.* 121, 49–75. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.11.008>
- Warner, J. C., Armstrong, B., He, R., & Zambon, J. B. (2010). Development of a Coupled Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport (COAWST) Modeling System. *Ocean Modelling*, 35(3), 230–244. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2010.07.010>

HERRAMIENTAS PARA INTEGRAR LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN LAS INGENIERÍAS

Gemma Tejedor, Bàrbara Sureda

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny, EEBE
Institut de Ciència i Tecnologies de la Sostenibilitat

Fermín Sánchez-Carracedo, Jordi Segalàs

Institut de Ciència i Tecnologies de la Sostenibilitat

Gorka Bueno

Facultad de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco

Pere Busquets

Departamento de Ingeniería Minera, Industrial y TIC

Joan Climent, Boris Lazzarini

Institut de Ciència i Tecnologies de la Sostenibilitat

David Lopez

Departamento de Arquitectura de Computadores

Carmen Martín, Eva Vidal

Institut de Ciència i Tecnologies de la Sostenibilitat

Rafael Miñano

Centro de Innovación y Tecnología para el Desarrollo, Universidad
Politécnica de Madrid-UPM

Estíbaliz Sáez de Cámara

Facultad de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco

Resumen

En este trabajo se presenta una herramienta desarrollada en el marco del proyecto EDINSOST2-SDG orientada a integrar la educación para el Desarrollo Sostenible (ESD) en los currículos de Ingeniería. Esta herramienta es el mapa de sostenibilidad de las ingenierías, la cual contiene los resultados de aprendizaje relacionados con la ESD que cualquier estudiante de ingeniería debe haber adquirido al finalizar sus estudios. Los resultados de aprendizaje se describen a partir de cuatro competencias en sostenibilidad: (1) Contextualización crítica del conocimiento, (2) Uso sostenible de los recursos, (3) Participación en procesos comunitarios y (4) Aplicación de principios éticos. Esta herramienta ha sido sometida a un proceso de validación y se está utilizando actualmente en un conjunto de titulaciones de ingeniería relacionadas con el proyecto EDINSOST2-SDG.

Abstract

This paper presents a tool developed in the framework of the EDINSOST2-SDG project aimed at integrating education for Sustainable Development (ESD) in engineering curricula. This tool is the engineering sustainability map, which contains the ESD-related learning outcomes that any engineering student should have acquired by the end of his or her studies. The learning outcomes are described on the basis of four sustainability competencies: (1) Critical contextualization of knowledge, (2) Sustainable use of resources, (3) Participation in community processes, and (4) Application of ethical principles. This tool has undergone a validation process and is currently being used in a set of engineering degrees related to the EDINSOST2-SDG project.

1. Introducción

La responsabilidad y el rol crítico de las universidades para afrontar los desafíos de la sostenibilidad es reconocida desde hace décadas desde diversos ámbitos. Esto se refleja en un gran número de documentos e iniciativas internacionales que han sido apoyadas por más de 1400 instituciones de educación superior (Wright, 2004).

La hoja de ruta internacional diseñada para avanzar hacia el desarrollo sostenible, la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo

Sostenible de Naciones Unidas (ODS) (UN, 2015), identifican a la universidad como uno de los actores relevantes para llevarla a cabo.

En 2019, la UNESCO adoptó un nuevo marco global sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible (ESD) llamado "Education for Sustainable Development: Towards the Achievement of the SDG" o "ESD para el 2030" (UNESCO, 2019).

Numerosos estudios e informes sobre la sostenibilidad en la universidad muestran que las mayores barreras y dificultades para el cambio se encuentran en el ámbito de la enseñanza-aprendizaje (Buckler et al., 2014). Se ha trabajado mucho en relación con las competencias que han de desarrollarse para afrontar los retos de la sostenibilidad, y por tanto los ODS. Una completa síntesis de dichas competencias se presenta en la guía de la UNESCO (UNESCO, 2017). Se presentan ocho competencias clave cruciales para avanzar en el desarrollo sostenible: 1) competencia de pensamiento sistémico, 2) competencia de anticipación, 3) competencia normativa, 4) competencia estratégica, 5) competencia de colaboración, 6) competencia de pensamiento crítico, 7) competencia de autoconciencia y, 8) competencia de resolución integrada de problemas. Estas competencias son transversales y no reemplazan, sino que complementan, a las competencias específicas de cada ámbito profesional y académico.

En el contexto del estado español, el Comité ejecutivo de la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE) aprobó en 2012 cuatro competencias en sostenibilidad consideradas esenciales en los currículos de las titulaciones de educación superior (CRUE, 2012):

- C1: Contextualización crítica del conocimiento estableciendo interrelaciones con problemas sociales, económicos, ambientales, locales y/o globales.
- C2: Uso sostenible de los recursos y prevención de impactos negativos en el entorno natural y social.
- C3: Participación en procesos comunitarios que promuevan la sostenibilidad.
- C4: Aplicación de principios éticos relacionados con los valores de la sostenibilidad en el comportamiento personal y profesional.

En el ámbito específico de las ingenierías, la Declaración de Barcelona explicita las capacidades que los profesionales de la ingeniería deberían adquirir para afrontar los retos de la sostenibilidad (ver Tabla 1). Dichas competencias están alineadas con las competencias de la CRUE.

Diferentes agencias de acreditación de titulaciones de ingeniería, como (ABET, 2020) proponen resultados de aprendizaje que también están alineados con las competencias en sostenibilidad.

No obstante, lo esencial para incorporar la ESD y los ODS en las titulaciones universitarias no debe consistir en solamente introducir nuevos contenidos o nuevas asignaturas en los currículums (Buckler et al., 2014). El cambio debe implicar la revisión y cambio de las estrategias de enseñanza-aprendizaje, potenciando el desarrollo de una visión crítica y holística, promoviendo la resolución de problemas y la toma de decisiones que incorporen criterios de sostenibilidad, ética y responsabilidad social, promoviendo proyectos interdisciplinares

Los ingenieros actuales deben ser capaces de:

- **Comprender cómo interactúa su trabajo con la sociedad y el medio ambiente**, a escala local y mundial, para identificar posibles retos, riesgos e impactos.
- **Comprender la contribución de su trabajo** en diferentes contextos culturales, sociales y políticos y tener en cuenta esas diferencias.
- **Trabajar en equipos multidisciplinares** para adaptar la tecnología actual a las exigencias impuestas por los estilos de vida sostenibles, la eficiencia de los recursos, la prevención de la contaminación y la gestión de residuos.
- **Aplicar un enfoque holístico y sistémico a la resolución de problemas** y la capacidad de superar la tradición de descomponer la realidad en partes inconexas.
- **Participar activamente** en la discusión y definición de políticas económicas, sociales y tecnológicas, para contribuir a reorientar la sociedad hacia un desarrollo más sostenible.
- Aplicar los conocimientos profesionales de acuerdo con los principios deontológicos y los **valores y la ética** universales.
- **Escuchar atentamente las demandas de los ciudadanos y otras partes interesadas** y dejarles participar en el desarrollo de nuevas tecnologías e infraestructuras.

Tabla 1. Declaración de Barcelona sobre las competencias de los profesionales de la ingeniería. Fuente: Barcelona Declaration, 2004.

entre diferentes áreas y cursos, e incorporando a otros actores sociales en la formación universitaria (Tilbury, 2011).

Para facilitar la incorporación de la sostenibilidad en los actuales currículos del sistema universitario español, el proyecto EDINSOST (Segalàs y Sánchez-Carracedo, 2019) desarrolló los mapas de sostenibilidad para tres campos: ingenierías, educación y economía (Sánchez-Carracedo et al., 2019b), a partir de las competencias en sostenibilidad definidas por la (CRUE, 2012). Más adelante, el proyecto EDINSOST2-SDG tiene como objetivo incorporar los ODS a la educación para la sostenibilidad.

2. Metodología

2.1. ¿Qué objetivos de aprendizaje de los ODS deben desarrollarse en los currículos de ingeniería?

En el documento “Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives”, la UNESCO definió 15 objetivos de aprendizaje para cada uno de los 17 ODS (SDG), los cuales se clasificaron utilizando una taxonomía de tres niveles: cognitivo (C), socioemocional (S) y conductual (B) (UNESCO, 2017). Para cada ODS se definieron 5 objetivos en cada nivel de la taxonomía. En total, se definieron 255 objetivos de aprendizaje que deberían desarrollarse.

En el proyecto EDINSOST2-SDG, los ODS-objetivos de aprendizaje se identifican mediante la inicial del nivel de la taxonomía (C, S, B) seguida por un número del 1 al 5. Por ejemplo, el ODS2 C4 es el cuarto objetivo cognitivo del ODS número 2 (Hambre cero).

Cada uno de los 255 ODS-objetivos de aprendizaje se asignó a una de las siguientes tres categorías:

- Objetivos que deben desarrollarse en todos los currículos de ingeniería (ENG)
- Objetivos que deben desarrollarse en uno o varios currículos específicos de ingeniería, pero no en todos (Any ENG)
- Objetivos que deben desarrollarse en otros estudios universitarios distintos de las ingenierías, en estudios no universitarios o simplemente a lo largo de toda la vida (Other).

La metodología seguida en el proyecto para asignar cada objetivo de aprendizaje a una de las categorías anteriores fue la siguiente:

1. Los participantes en el proyecto se dividieron en cuatro grupos independientes: A, B, C y D
2. El grupo A revisó los 255 objetivos de aprendizaje y asignó cada objetivo a una de las tres categorías descritas (ENG, Any ENG, Others). Para evitar discrepancias debidas a posibles cambios de criterio producidos durante el proceso de asignación, el proceso se hizo en dos iteraciones: en una primera iteración se realizó una preasignación de objetivos a las categorías y se fijaron los criterios de asignación, y en una segunda iteración se revisó el resultado de la primera iteración.
3. A continuación, los grupos B, C y D revisaron el trabajo realizado por el grupo A. Los ODS 1 al 6 se asignaron al grupo B, los ODS 7 al 12 al grupo C y los ODS 13 al 17 al grupo D.
4. Posteriormente, los cuatro grupos se reunieron para determinar la asignación final. El resultado de la asignación se muestra en la Figura 1.

		SDG															
Learning Objectives	SDG1 No Poverty	SDG2 Zero Hunger	SDG3 Good Health & Well-being	SDG4 Quality Education	SDG5 Gender Equality	SDG6 Clean Water & Sanitation	SDG7 Affordable & Clean Energy	SDG8 Decent Work & Ec. growth	SDG9 Industry, Inmov. & Infrastruct.	SDG10 Reduce Inequality	SDG11 Sustainable Cities & Community	SDG12 Responsible Consumption & Production	SDG13 Climate Action	SDG14 Life below Water	SDG15 Life on Land	SDG16 Peace, Justice & Strong Inst.	SDG17 Partnership for the Goals
C1	Other	Other	ENG	Other	Other	Other	ENG	ENG	ENG	ENG	ENG	Other	Other	Other	Other	Other	Other
C2	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Any ENG	ENG	ENG	ENG	Any ENG	ENG	Other	Other	Other	Other	Other
C3	ENG	Other	Other	ENG	Other	Any ENG	ENG	Other	ENG	Other	Any ENG	ENG	ENG	Other	Any ENG	Other	ENG
C4	ENG	Any ENG	Other	ENG	Other	ENG	Any ENG	Other	ENG	ENG	Any ENG	ENG	Any ENG	Other	Any ENG	ENG	Other
C5	Other	Any ENG	Other	ENG	ENG	Any ENG	Other	Other	ENG	ENG	Any ENG	ENG	Any ENG	Other	Any ENG	ENG	ENG
S1	Other	Any ENG	Other	Other	Other	Any ENG	ENG	Other	Other	ENG	Other	ENG	Other	Other	Other	Other	Other
S2	Other	Any ENG	Other	Other	Other	Any ENG	Any ENG	Other	Other	Other	ENG	ENG	Other	Other	Other	Other	Other
S3	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Any ENG	Other	Other	Other	Other	Other	ENG	Other	Other	Other	ENG
S4	Other	Any ENG	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Other	ENG	Other
S5	ENG	Other	Other	Other	Other	Other	Any ENG	Other	Other	ENG	Other	ENG	Other	Other	Other	Other	Other
B1	ENG	Any ENG	Other	Other	Other	Other	Other	Other	ENG	ENG	Other	ENG	ENG	Other	Other	Other	Other
B2	Other	Any ENG	Other	Other	ENG	Other	ENG	Other	ENG	ENG	Other	Other	Other	Any ENG	Other	Other	Other
B3	Other	Any ENG	Other	Other	Other	Other	Any ENG	ENG	ENG	ENG	Other	ENG	Any ENG	Other	Other	Other	Other
B4	Other	Other	Other	Other	Other	Other	Any ENG	ENG	Other	ENG	ENG	Other	Any ENG	Other	Any ENG	Other	Other
B5	ENG	Any ENG	Other	Other	Other	Other	Any ENG	ENG	ENG	Other	ENG	Other	ENG	Other	Other	Other	ENG

Figura 1. Clasificación de los ODS-objetivos de aprendizaje en las tres categorías definidas: Todas las Ingenierías- ENG (verde), alguna Ingeniería- Any ENG (amarillo) y otros- Other (rosa).

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1 muestra una matriz en la que cada columna representa los 15 objetivos de aprendizaje de un determinado ODS. Las filas corresponden a los objetivos de aprendizaje definidos por la UNESCO según las categorías Cognitiva (C1-C5), Socioemocional (S1-S5) y Conductual (B1-B5). El contenido de la matriz corresponde a la asignación de cada objetivo de aprendizaje a la categoría correspondiente: ENG, Any ENG y Others.

Como puede verse en la Figura 1, 68 de los 255 objetivos de aprendizaje deben desarrollarse en todos los currículos de Ingeniería (26,7 %), y 35 objetivos en algunos grados de ingeniería (13,7 %).

2.2. Mapa de sostenibilidad de las ingenierías

El mapa de sostenibilidad de las ingenierías (MSE) contiene los resultados de aprendizaje relacionados con la sostenibilidad que un estudiante de Ingeniería debe haber adquirido al finalizar sus estudios de grado.

El primer objetivo del proyecto EDINSOST2-SDG consiste en diseñar el mapa de sostenibilidad de las titulaciones implicadas en el proyecto, entre las que se encuentran los currículos de ingeniería. El mapa se elaboró a partir de (1) el MSE previamente diseñado por el proyecto EDINSOST (Sánchez-Carracedo et al., 2019b) y (2) los ODS-objetivos de aprendizaje que deben desarrollarse en todos los currículos de ingeniería (coloreados en verde en la Figura 1).

El MSE es un mapa de competencias (Sánchez-Carracedo et al., 2019a) que desarrolla las competencias en sostenibilidad definidas por la (CRUE, 2012) para las titulaciones de ingenierías. El mapa de competencias es una matriz que contiene el conjunto de resultados de

aprendizaje, relacionados con una determinada competencia, que los egresados de un determinado currículum deben haber obtenido al finalizar sus estudios. En este mapa, los resultados de aprendizaje se clasifican usando una taxonomía de aprendizaje que se representa en las columnas de la matriz. Las filas de la matriz contienen las diferentes unidades de competencia. En consecuencia, cada celda de la matriz se corresponde con una unidad de competencia y un nivel de la taxonomía de aprendizaje, y puede contener uno o varios resultados de aprendizaje. La taxonomía de aprendizaje adopta los niveles de dominio de la pirámide simplificada de Miller (Miller, 1990).

El MSE del proyecto EDINSOST2-SDG se diseñó siguiendo los mismos criterios que guiaron el diseño del ESM de EDINSOST1 (Sánchez-Carracedo et al., 2018b). La metodología que se usó para diseñar el MSE del proyecto EDINSOST2-SDG es similar a la descrita en la Sección 2.1.

Uno de los objetivos del proyecto EDINSOST2-SDG fue relacionar el MSE con los ODS. Para ello, se llevó a cabo un proceso de creación y validación de una tabla que relaciona los resultados de aprendizaje del mapa con las metas de los SDG (UN, 2015) y con los objetivos de aprendizaje de la UNESCO (Rieckmann, 2017). Se puede consultar dicho proceso de trabajo en (Sánchez-Carracedo et al., 2021).

2.3. Simplificación del Mapa de sostenibilidad de las ingenierías

La Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech (UPC) optó en 2021 por utilizar las herramientas del modelo EDINSOST (Sánchez-Carracedo et al., 2021) para incorporar la sostenibilidad en todas sus

titulaciones. No obstante, la UPC solicitó una simplificación de dichas herramientas, con la finalidad de aumentar su usabilidad por parte del profesorado y equipos directivos poco versados en la Educación para la Sostenibilidad (ESD). El proceso de simplificación del MSE, consistió en la reducción del número de objetivos de aprendizaje del mapa inicial, de modo que cada celda del mapa simplificado incluya, en lo posible, un solo resultado de aprendizaje. La metodología seguida en el proceso de simplificación involucró a 14 investigadores e investigadoras del equipo EDINSOST, que mediante varias aproximaciones llevaron a cabo una revisión, comparación, reagrupación, redacción y validación de los nuevos resultados de aprendizaje (Sánchez-Carracedo et al., 2022).

Una vez obtenido el MSE simplificado, se procedió a actualizar las tablas que relacionan el MSE con los ODS. Para ello se asignó a cada resultado de aprendizaje del MSE simplificado, los objetivos de aprendizaje y metas que tenían asignados los resultados de aprendizaje relacionados, del MSE original (Sánchez-Carracedo et al., 2022).

3. Resultados

3.1. Mapa de Sostenibilidad de las Ingenierías

El MSE diseñado en el proyecto EDINSOST2-SDG contiene un total de 53 resultados de aprendizaje (RA) organizados en una matriz, en base a competencias en sostenibilidad, dimensiones de la sostenibilidad, unidades de competencia y niveles de dominio en la taxonomía de aprendizaje, tal cómo se muestra en la Figura 2. Los RA se codifican con 4 identificadores:

1. Competencia C1, C2, C3, C4. Se refiere a la competencia en sostenibilidad de la CRUE que desarrolla el resultado de aprendizaje.
2. Dimensión HO, EN, EC, SO. Indica si el resultado de aprendizaje se refiere a la dimensión holística, ambiental, económica o social de la sostenibilidad
3. Nivel 1, 2, 3. Indica el nivel de dominio en la taxonomía de aprendizaje: 1-Saber, 2- Saber cómo y 3- Demostrar+Hacer.
4. Orden. Enumera el orden que ocupa el RA en cada celda del MSE.

MSE Mapa de Sostenibilidad de las Ingenierías			Nivel de dominio de la pirámide simplificada de Miller		
Competencia	Dimensión	Unidad de Competencia	Saber	Saber cómo	Demo+hacer
C1	Holística	CU 1.1			
C2	<i>Ambiental</i>	CU 2.1			
	<i>Social</i>	CU 2.2			
	<i>Económica</i>	CU 2.3			
	<i>Holística</i>	CU 2.4			
C3	Holística	CU 3.1			
C4	Holística	CU 4.1			

Resultados de aprendizaje (RA)

Figura 2. Esquema del Mapa de Sostenibilidad de las Ingenierías MSE del proyecto EDINSOST2-SDG. Cada celda del mapa puede contener uno o más resultados de aprendizaje. La matriz se organiza en base a las competencias en sostenibilidad de la CRUE (C1, C2, C3, C4), las dimensiones de la sostenibilidad (holística, ambiental, económica o social), unidades de competencia y niveles de dominio en la taxonomía de aprendizaje (Saber, Saber cómo, Demostrar+Hacer).

3.2. Mapa de Sostenibilidad de las Ingenierías simplificado

El MSE simplificado contiene 29 resultados de aprendizaje, frente a los 53 del original. En las siguientes tablas se muestra el MSE simplificado y sus elementos. El MSE simplificado se trabajó en inglés con la finalidad de aumentar su capacidad de utilización y difusión. La Tabla 2 muestra el esquema del MSE simplificado con la codificación final de los resultados de aprendizaje, así como el redactado último de las Unidades de Competencia.

Engineering SCM					
Competency	Dimension	Competency Unit	Domain Levels		
			Level 1 Know	Level 2 Know How	Level 3 Demonstrate + Do
C1. Critical contextualization of knowledge establishing interrelations with social, economic, and environmental, local and/or global problems	Holistic	CU1.HO. Learners have a historical and contemporary perspective, and understand the systemic nature of environmental, social, and economic problems, as well as their interrelationships and future challenges, both locally and globally.	C1.HO.1.1	C1.HO.2.1	C1.HO.3.1

C2. Sustainable use of resources and prevention of negative impacts on the natural and social environment	Environmental	CU2.EN. Learners are able to detect and analyze the environmental impact of their professional activity and to propose sustainable solutions.	C2.EN.1.1 C2.EN.1.2	C2.EN.2.1	C2.EN.3.1
	Social	CU2.SO. Learners are able to detect and analyze the social impact of their professional activity and to propose sustainable solutions.	C2.SO.1.1 C2.SO.1.2	C2.SO.2.1 C2.SO.2.2	C2.SO.3.1
	Economic	CU2.EC. Learners are able to manage the material, financial and human resources of the projects in their professional field with sustainability criteria to ensure their economic viability.	C2.EC.1.1	C2.EC.2.1	C2.EC.3.1
	Holistic	CU2.HO. Learners are able to detect and analyze the environmental, social, and economic impact of their professional activity and to propose, design, organize and carry out sustainable actions.	C2.HO.1.1 C2.HO.1.2 C2.HO.1.3	C2.HO.2.1 C2.HO.2.2	C2.HO.3.1

C3. Participation in community processes that promote sustainability	Holistic	CU3.HO. Learners are capable of participating in inclusive reflection and decision-making processes with a global citizenship perspective, and of working from their professional field on interdisciplinary and transdisciplinary projects that guide society towards sustainable transitions.	C3.HO.1.1 C3.HO.1.2	C3.HO.2.1	C3.HO.3.1
C.4 Application of ethical principles related to the values of sustainability in personal and professional behavior	Holistic	CU4.HO. Learners act in accordance with ethical and deontological principles related to the values of sustainability.	C4.HO.1.1 C4.HO.1.2	C4.HO.2.1	C4.HO.3.1

Tabla 1. Esquema del Mapa de Sostenibilidad de las Ingenierías MSE simplificado.

La Tabla 2 contiene la definición actualizada, contextualizada y precisa de cada resultado de aprendizaje.

C1.HO.1.1	Learners know the main causes, consequences and proposed solutions to sustainability problems (social, economic and/or environmental), both local and global, especially in their professional field. For example, Sustainable Development Goals from Agenda 2030, IPCC reports.
C1.HO.2.1	Learners reflect critically about sustainability in their professional field.
C1.HO.3.1	Learners are able to relate a sustainability problem of a product or service in their professional field with the methods and strategies to face them.
C2.EN.1.1	Learners know metrics (or tools) to measure the environmental impact of products and services related to their professional field (for example, environmental footprint, pollutant emissions, resource/energy consumption, biodiversity impact, waste generation, Directive 2014/95/UE for non-financial reporting).
C2.EN.1.2	Learners know strategies and/or technologies for reduction, reuse and recycling of natural resources and waste, related to products and services in their professional field.
C2.EN.2.1	Learners know how to use appropriate metrics (or tools) to measure the environmental impact of products and services related to their professional field, throughout their life cycle (extraction, production, use and end-of-life).
C2.EN.3.1	Learners take into account environmental criteria in projects related to their professional field and include indicators to estimate/measure environmental impact.
C2.SO.1.1	Learners know metrics (or tools) to measure and describe the social impact of products and services related to their professional field (for example, social life cycle assessment, ISO 26000, Directive 2014/95/UE for non-financial reporting).

C2.SO.1.2	Learners know the basic concepts about health, security and social justice related to their professional field (for example, ergonomics, accessibility, user experience, equity, diversity, common good, transparency, human rights, gender perspective, needs of the most vulnerable groups, discrimination, dignity, anti-corruption).
C2.SO.2.1	Learners know how to use appropriate metrics (or tools) to measure the social impact of products and services related to their professional field.
C2.SO.2.2	Learners understand the direct and indirect consequences for security, health and social justice of products and services related to their professional field.
C2.SO.3.1	Learners take into account security, health and social justice criteria in their projects and actions, and include indicators to measure social impact.
C2.EC.1.1	Learners know the basic concepts of resource management, applicable to the management of projects in their professional field and methods (or tools) to estimate their economic viability (for example, fixed and variable costs, amortizations, budgets, Gantt diagrams, externalities analysis, CANVAS analysis, SWOT analysis, business plan, strategic plan, cost-benefit).
C2.EC.2.1	Learners understand the economic viability plan of a project in their professional field and identify the economic consequences it will have on society.
C2.EC.3.1	C2.EC.3.1. Learners are able to plan a project in their professional field, design an economic viability plan and follow up the economic management throughout its useful life.
C2.HO.1.1	Learners know the strategic role of their profession on sustainability and the direct and indirect consequences of the use of products and services related to their professional field on society, the economy and the environment.

C2.HO.1.2	Learners know different economic approaches that promote sustainable development (for example, circular economy, economy of the common good, social economy, ecological economy).
C2.HO.1.3	Learners know the roles, rights and duties of the different stakeholders (professionals, companies, legislation, clients, consumers, etc) on the production and consumption of products and services related to their professional field.
C2.HO.2.1	Learners know how to analyze the different alternatives of a product or service in their professional field to decide which is the most sustainable.
C2.HO.2.2	Learners know how to apply different sustainability approaches on production, consumption (responsible consumption) and recycling.
C2.HO.3.1	Learners are able to bring new ideas and solutions to a project in their professional field to make it more sustainable, to propose sustainable projects, to follow up and dismantle appropriately and to select which indicators will be used to measure sustainability.
C3.HO.1.1	Learners know the main economic and environmental stakeholders related to their professional field.
C3.HO.1.2	Learners know techniques and/or tools to promote, in processes and projects in their professional field, their collaboration, the consideration of needs and expectations (information processes, consultation, participation, integration) and cooperation among them (scenario building techniques, co-creation of knowledge, etc).
C3.HO.2.1	Learners know how to collaborate with the different stakeholders involved to a project in their professional field, to identify their needs and expectations and to assess the implications they may have on the sustainability of the project.

C3.HO.3.1	Learners are able to use techniques and/or tools to promote collaboration and cooperation in interdisciplinary and transdisciplinary contexts of their professional field, participating in processes of reflection and decision making as agents of change towards sustainable transitions.
C4.HO.1.1	Learners know the code of ethics of their profession, the main ethical issues and the laws and regulations related to sustainability.
C4.HO.1.2	Learners know the concepts of social commitment and corporate social responsibility, their possibilities and limitations.
C4.HO.2.1	Learners are capable of identifying and critically assessing the implications of ethical and deontological principles related to the values of sustainability in their professional field, and of critically assessing the responsible action of companies.
C4.HO.3.1	Learners are capable of exercising their profession, and of actively participating in responsible action in the entities in which they develop their profession, taking into account ethical principles related to the values of sustainability (for example, equality, justice, precautionary principle, prevention of damage, responsibility towards present and future generations, protection and restoration of a healthy environment, social, economic and environmental human rights).

Tabla 2. Definición precisa de los resultados de aprendizaje del mapa de ingeniería MSE simplificado.

4. Conclusiones

La sociedad y especialmente las nuevas generaciones piden a las instituciones de educación superior que asuman su responsabilidad de asegurar la educación para la sostenibilidad en sus titulaciones. La reciente petición de los estudiantes de la Universitat de Barcelona

(UB) a su Rectorado, responde al incremento del clamor social⁵. La UPC está en el proceso de sostenibilización curricular desde 2011 y en 2021 ha optado por adoptar el esquema y las herramientas de los proyectos EDINSOST para asegurar la introducción de la sostenibilidad en sus titulaciones.

El Mapa de Sostenibilidad de las Ingenierías es una herramienta imprescindible para los responsables universitarios, formadores y profesorado para asegurar una correcta inclusión de la sostenibilidad en el diseño del currículo. Permite a quienes diseñan un currículo crear un itinerario formativo para la competencia en sostenibilidad, distribuyendo los resultados de aprendizaje entre las asignaturas de la titulación. En ausencia de dicho itinerario, el profesorado puede seleccionar qué resultados de aprendizaje encajan mejor en su asignatura. Con la coordinación entre las diversas asignaturas de la titulación se asegurará que se cubran todos los resultados de aprendizaje de la competencia.

Referencias

- ABET. (2020). Criteria for Accrediting Engineering Programs. Accreditation Board for Engineering and Technology. <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2020-2021/>
- Barcelona Declaration. (2004). Proceedings of the International Conference on Engineering Education for Sustainable Development. <https://eesd15.engineering.ubc.ca/declaration-of-barcelona>
- Buckler, C. y Creech, H. (2021). Shaping the Future We Want: UN Decade of Education for Sustainable Development (2005–2014), Final Report; UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230302>.

⁵ https://www.ub.edu/web/ub/ca/menu_eines/noticies/docs/Acord_crisi_eco_social.pdf

- CRUE.(2012) Directrices para la sostenibilización curricular. [https://www.crue.org/Documentos %20compartidos/Declaraciones/Directrices Sostenibilidad Crue2012.pdf](https://www.crue.org/Documentos%20compartidos/Declaraciones/Directrices_Sostenibilidad_Crue2012.pdf).
- Miller, G.E. (1990). The assessment of clinical skills/ competence/ performance. *Acad. Med.* 1990, 65, S63–S67. <https://doi.org/10.1097/00001888-199009000-00045>
- Sánchez-Carracedo, F., Soler, A., Martín, C., López, D., Ageno, A., Cabré, J. et al. (2018a). Competency Maps: an Effective Model to Integrate Professional Competencies Across a STEM Curriculum. *Journal of Science Education and Technology*, 27, 448–468. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9735-3>
- Sánchez-Carracedo, F., Segalàs, J., Vidal, E., Martín, C., Climent, J., López, D. et al. (2018b). Improving engineering educators' sustainability competencies by using competency maps: The EDINSOST project. *International Journal of Engineering Education*, 34,. 1527–1537.
- Segalàs, J., & Sánchez-Carracedo, F. (2019). The EDINSOST project: Improving Sustainability Education in Spanish Higher Education (pp. 217-240). Proceedings of the 19th ERSCP- European Roundtable for Sustainable Consumption and Production. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/176645/ERSCP_2019_published.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sánchez-Carracedo, F., Segalàs, J., Bueno, G., Busquets, P., Climent, J., Galofré, V.G. et al. (2021). Tools for Embedding and Assessing Sustainable Development Goals in Engineering Education. *Sustainability*, 13, 12154. <https://doi.org/10.3390/su132112154>
- Sánchez-Carracedo, F.; Segalàs, J.; Busquets, P.; Camacho, S.; Climent, J.; Lazzarini, B. et al. (2022). Using Competency Maps for Embedding and Assessing Sustainability in Engineering Degrees. *Trends High. Educ.*, 1, 58-81. <https://doi.org/10.3390/higheredu1010006>
- Tilbury, D. (2011). *Higher education for sustainability: A global overview of commitment and progress en Higher Education in the World 4*. Higher Education's Commitment to Sustainability from Understanding to Action (pp. 18–28). Global University Network for Innovation (GUNI).
- UN. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://undocs.org/en/A/RES/70/1>.
- UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals: learning objectives. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>
- UNESCO. (2019). Framework for the Implementation of Education for Sustainable Development (ESD) beyond 2019. Proceedings of the 40th UNESCO General Conference. https://unesdoc.unesco.org/notice?id=p:usmarcdef_0000370215.

Wright, T. (2004). The evolution of sustainability declarations in higher education en P. Corcoran, P., A. Wals (Ed). *Higher Education and the Challenge of Sustainability* (pp. 7–14). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-48515-X_2

JUSTICIA CLIMÀTICA: DRET AL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE EN LA REPARTICIÓ EQUITATIVA D'EMISSIONS

Pablo Blasco Ladrero

UPC. Màster en Ciència i Tecnologia de la Sostenibilitat

Bàrbara Sureda Carbonell

EEBE. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

Olga Alcaraz Sendra

EEBE. Departament de Física

Resum

En el següent treball es presenta la revisió del concepte de dret al Desenvolupament Sostenible emmarcat en el context del Canvi Climàtic. El pressupost global de carboni indica que per a mantenir la temperatura per sota de 1,5 °C les emissions netes de CO₂ no han de superar les 400 GtCO_v. Això imposa fortes restriccions a la capacitat de desenvolupament dels països del Sud Global. Aquestes restriccions xoquen contra les evidents desigualtats entre els països del sud i el nord global. Mitjançant els principis de la Justícia Climàtica s'estudiaran les opcions presents en diversos estudis per a repartir les emissions de forma justa i equitativa. Seguint el dret al Desenvolupament Sostenible, un dels quatre principis d'equitat llistats pel IPCC, es proposaran possibles índexs a utilitzar per a la repartició de les emissions de Gasos d'efecte hivernacle. A més es farà una revisió general del terme Sostenibilitat i quina relació pot mantenir amb la lluita contra el canvi climàtic.

Abstract

The following work presents a review of the concept of the Right to Sustainable Development within the context of climate change. The global carbon budget tells us that in order to keep the temperature below 1.5 °C we cannot emit more than 400 GtCO₂. This imposes strong restrictions on the development capacity of the countries of the Global South. These restrictions clash with the obvious inequalities between the countries of the global South and North. The principles of Climate Justice will be used to study the options presented in the literature for distributing emissions fairly. Following the right to Sustainable Development, as one of the equity principles presented by the IPCC, possible indexes to be used for the distribution of greenhouse gas emissions will be proposed. In addition, there will be a general review of the term Sustainability and what relationship it can have with the fight against climate change.

1. Introducció

L'any 2016 va entrar en funcionament l'Acord de París (AP). En ell, els 195 països signants i que formen part de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre Canvi Climàtic (UNFCCC), acordaren mantenir la temperatura mitjana de la Terra per sota dels 2 °C y perseguir l'objectiu de mantenir-la per sota dels 1,5 °C respecte els nivells preindustrials (UNFCCC, 2015).

Tenint en compte aquest objectiu, les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) es converteixen en la principal fita de reducció dels països. Aquestes emissions corresponen principalment a CO₂, CH₄ i N₂O. En les negociacions multilaterals es centra la discussió en el CO₂ essent aquest el principal GEH (Zheng et al., 2019). Les emissions de CO₂ tenen una certa peculiaritat, al contrari que els altres GEH aquest té un temps d'estada a l'atmosfera molt elevat, d'aproximadament milers d'anys (Archer & Brovkin, 2008).

En consideració als objectius de reducció de l'augment de temperatura és important definir com cada país planeja la reducció de les emissions de GEH. És d'extrema rellevància diferenciar en aquest punt dos conceptes: flux i estoc. Un flux és definit com la quantitat d'un bé o substància que flueix per unitat de temps (taxa) a través d'una secció transversal donada; l'estoc és definit com la quantitat d'un bé o substància acumulada en un procés degut a la variació d'entrada o sortida de la substància o el bé. En termes d'emissions de GEH els informes d'emissions anuals de cada país fan referència als fluxos d'emissions generats anualment. Per altra banda, quan ens referim als objectius de reducció de l'augment de temperatura, i per tant, la disminució de les emissions de GEH a nivell global, sempre es fa referència als estocs, a l'acumulació d'emissions de GEH a l'atmosfera (Ajani et al., 2013).

L'estoc de GEH a l'atmosfera és de vital importància per explicar el significat del *Global Carbon Budget* o Pressupost Global de Carboni. Aquest concepte es defineix com la quantitat màxima d'emissions acumulades netes de CO₂ antropogèniques globals que donarien lloc a limitar l'escalfament global a un nivell determinat amb una probabilitat determinada. Gràcies als estudis recollits per l'IPCC en el document AR6 del WGI podem conèixer quins són aquests nivells. Com podem veure a la Figura 1, el pressupost global de carboni restant per a mantenir la temperatura per sota de l'1,5 °C de mitjana amb una probabilitat del 67 % es de 400 GtCO₂. Per altra banda aquesta mateixa dada, però per mantenir la temperatura per sota dels 2 °C és de 1150 GtCO₂ (IPCC, 2021).

Global Warming Between 1850–1900 and 2010–2019 (°C)		Historical Cumulative CO ₂ Emissions from 1850 to 2019 (GtCO ₂)					
1.07 (0.8–1.3; likely range)		2390 (± 240; likely range)					
Approximate global warming relative to 1850–1900 until temperature limit (°C) ^a	Additional global warming relative to 2010–2019 until temperature limit (°C)	Estimated remaining carbon budgets from the beginning of 2020 (GtCO ₂)					Variations in reductions in non-CO ₂ emissions ^c
		Likelihood of limiting global warming to temperature limit ^b					
		17%	33%	50%	67%	83%	
1.5	0.43	900	650	500	400	300	Higher or lower reductions in accompanying non-CO ₂ emissions can increase or decrease the values on the left by 220 GtCO ₂ , or more
1.7	0.63	1450	1050	850	700	550	
2.0	0.93	2300	1700	1350	1150	900	

Figura 1. Pressupost Global de Carboni presentat per l'IPCC al AR6 WGI.
Font: IPCC, 2021.

El pressupost global de carboni posa de rellevància l'espai reduït i finit que actualment tenim a l'atmosfera per seguir-hi emetent emissions de GEH. Tal com defineixen alguns autors, la inclusió del pressupost global de carboni en les discussions i negociacions multilaterals contra el canvi climàtic, emfatitza la naturalesa de les emissions de CO₂ com un bé escàs del futur (Mckinnon, 2015).

Un bé escàs sempre comporta un control més exhaustiu del seu ús que altres bens que no presenten problemes de subministrament. Per exemple, en zones del món on hi ha problemes d'escassetat d'aigua aquest recurs ha de ser monitorat de forma minuciosa i continua (Iglesias et al., 2006). A més, cal que el seu ús sigui repartit de forma justa i equitativa tenint en compte quines són les necessitats més bàsiques de les poblacions. Tal i com ha estat descrit anteriorment, tenint en compte el pressupost global de carboni i els objectius de reducció de l'augment de temperatura, les emissions de GEH poden ser considerades un bé escàs per a presents i futures generacions. Per tant, la següent pregunta que sorgeix és: com hauríem de repartir l'ús

d'aquestes emissions tenint en compte les necessitats bàsiques de les generacions presents i futures?

2. Justícia climàtica

En un terme ampli del concepte la Justícia Climàtica fa referència a que tota decisió en vers a l'objectiu de limitar l'augment de temperatura ha de fer-se de forma justa, tenint en compte les necessitats específiques de les poblacions. Molts autors han treballat i investigat en el tema de justícia climàtica. Tal i com defineix Mckinnon (2015) hi ha diverses formes d'apropar-se i tractar aquest terme:

1. **Justícia distributiva:** defineix el patró de repartiment d'un bé determinat de forma que el benefici i els danys causats per aquesta distribució siguin justament repartits entre les parts. Per a caracteritzar aquest patró és necessari definir els principis que es seguiran per fer la divisió i a més quines parts o grups són les que seran beneficiaries d'aquest repartiment (Rawls & Rawls, 1999).

En el cas del nostre estudi, el bé a repartir és el conjunt d'emissions que degut a las condicions imposades pel pressupost de carboni poden alliberar-se a l'atmosfera.

2. **Justícia correctiva:** assegura que aquelles accions que han estat o són abusives o improcedents siguin reparades. En aquest cas és important definir quins són els actors causants d'aquestes accions i quins són els agents perjudicats (Coleman, 1992).

Fent referència a la nostra casuística, aquells que sobrepassen el nivell d'emissions assignat o no compleixen el nivell de finançament acordat per mitigació i adaptació, són causants d'un dany sobre poblacions vulnerables a desastres del canvi climàtic i per tant, aquestes han de ser reparades.

3. Justícia criminal: assegurar que aquells agents causants d'un dany públic seran perseguits, processats i castigats de forma justa per les seves accions (Duff, 2007).

En el nostre cas d'estudi, la justícia criminal no ha estat utilitzada encara en l'àmbit de la justícia climàtica.

Analitzar de forma detallada cadascun dels punts llistats anteriorment s'escapa de l'objectiu del treball aquí presentat. Tot i això, és rellevant apuntar que per l'avenç de les futures negociacions multilaterals en matèria de canvi climàtica és d'extrema importància incloure aquests punts en els debats i discussions. La reclamació històrica dels països del sud global i especialment aquells que més impactes rebran pel canvi climàtic de considerar temes com el finançament per a l'adaptació i danys i pèrdues ha estat sempre present a les negociacions (BASIC, 2011). Tot i això, els països del nord global constantment han fallat en complir les seves promeses (Oxfam, 2022) i no ha estat fins la darrera COP27 on el tema de danys i pèrdues ha estat tractat en l'agenda (UNFCCC, 2022). Per tant, és important que aquests temes tinguin una rellevància central per l'avenç de les negociacions.

Per a respondre a la pregunta plantejada anteriorment, el terme de justícia distributiva pot ajudar-nos a aclarir com les emissions restants de GEH que podem emetre a l'atmosfera, poden distribuir-se de forma justa. Cal en primer lloc definir els principis que s'utilitzaran per a la divisió justa d'aquestes emissions.

3. Equitat

El terme equitat ha guanyat rellevància en el context del canvi climàtic (Mattoo & Subramanian, 2012). Justificant-se en les grans desigualtats

existents, senyalades a la Figura 2, aquest concepte ha estat defensat per part dels països del sud global de forma continua. Com podem comprovar, es mostren els nivells d'emissions de GEH reportats per l'IPCC en el seu AR6 del WGIII (IPCC, 2022). En aquesta imatge podem veure clarament les desigualtats en quant a nivell d'emissions es refereix en les diferents regions del món. Els països del nord global representen el 43 % de les emissions acumulades històriques totals. Mentre que les regions més afectades pel canvi climàtic, tenen contribucions molt més baixes. A més si també ens fixem en les emissions per càpita de diferents regions del món les dades segueixen mostrant grans desequilibris.

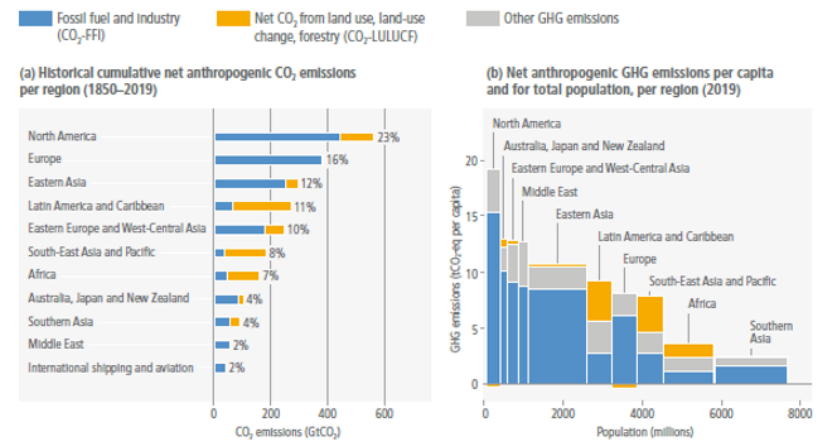


Figura 2. Acumulat històric d'emissions de CO₂ i emissions de GEH per càpita l'any 2019 a diferents regions del món. Font: IPCC, 2022.

A banda de la defensa del terme equitat en les negociacions multilaterals del canvi climàtic, aquest terme apareix reflectit en el document signat per totes les parts en el tractat fundacional de la

UNFCCC. Específicament es fa referència en l'article 3.1 de l'acord (UNFCCC, 1992):

The Parties should protect the climate system for the benefit of present and future generations of humankind, on the basis of equity and in accordance with their common but differentiated responsibilities and respective capabilities.

Degut a la rellevància i la inclusió d'aquest concepte en el mateix document de la UNFCCC, molts investigadors han utilitzat el terme equitat com a principi rector per a la divisió de les emissions restants atenent el pressupost global de carboni. Tot i que el principi d'equitat queda inclòs en el conveni, no hi ha cap estàndard d'equitat fixat entre països i per tant, qualsevol mesura queda sota les interpretacions que les parts puguin fer sobre aquest concepte (Heyward, 2007). Tot i que l'estratègia d'aplicació del concepte equitat no és clara, són diverses les fonts que han desenvolupat metodologies per a la divisió del pressupost de carboni tenint en compte aquest terme.

En el nostre cas utilitzarem la divisió realitzada per l'IPCC en el AR5 del WGIII (IPCC, 2014). Aquest document presenta 4 dimensions de l'equitat: Responsabilitat, Capacitat, Igualtat i Dret al Desenvolupament Sostenible. A continuació estudiarem i descriurem cadascuna d'elles.

3.1. Responsabilitat

El terme responsabilitat generalment en el àmbit de canvi climàtic es relaciona directament amb la idea de qui contamina paga (*Polluters Pays Principle*). Aquesta interpretació també ens relaciona aquest principi amb el concepte *common but differentiated responsibilities* introduït en el article 3.1 de la UNFCC (UNFCCC, 1992).

El terme responsabilitat per tant, significa tenir en compte les passades i presents emissions de cadascun dels països (Dong et al., 2015). Tanmateix, entre la comunitat científica existeixen grans discrepàncies respecte quin punt temporal ha de fixar-se com a origen per a tenir en compte les emissions històriques.

A més, en un món dominat principalment per la globalització, les emissions que un país genera no només es troben dins dels límits del propi país si no que també poden relacionar-se amb els productes i serveis que aquest consumeix i ofereix. Per tant, en aquest cas, per poder definir de manera adequada la responsabilitat també cal definir quin tipus d'emissions seran comptabilitzades, bé nacionals o bé de consum.

3.2. Capacitat

Aquest terme fa referència a la capacitat que cadascun del països pot tenir per solucionar el problema del canvi climàtic, per tant, aquells que puguin contribuir més, han de ser els que més ho facin (Climate Change Litigation, 2021).

La principal dimensió per aplicar aquest principi és la econòmica, utilitzant com molts autors han suggerit, variables com el Producte Interior Brut (PIB) (Smith, 1991), indicadors de qualitat de vida o valors llandars (BASIC, 2011). Tenint en compte aquesta definició, hom pot pensar que el terme capacitat només fa referència a un aspecte econòmic. Però veritablement aquesta definició va més enllà i també abasta aspectes com la capacitat tecnològica, institucional i de capital humà.

3.3. Igualtat

Aquest terme fa referència a la concepció bàsica i universal que cadascun dels éssers humans som éssers amb un mateix valor moral i per tant, hem de tenir els mateixos drets. En l'àmbit del canvi climàtic aquest principi s'ha utilitzat de forma general fent referència a que cada persona té el mateix dret d'emissió que la resta de població mundial (Owen, 1990). Tot i això, és important destacar que aquest terme no necessàriament pot significar que tothom tingui el mateix dret a contaminar, pot enfocar-se amb l'objectiu de compensar desigualtat ja existents i per tant, que n'hi hagi amb drets de contaminació més elevats que altres (Starkey, 2010).

3.4. Dret al Desenvolupament Sostenible

El dret al desenvolupament Sostenible és recollit en diferents tractats internacionals (United Nations, 1986). Aquest defineix la prioritització per part de les persones i països amb menys recursos de satisfer les necessitats bàsiques per sobre d'altres objectius. A més, aquest objectiu apareix escrit de forma clara en el document del UNFCCC (UNFCCC, 1992): *Economic and social development and poverty eradication are the first and overriding priorities of the developing country Parties.*

En el context de canvi climàtic, l'assignació d'emissions a nivell global, aplicant aquesta dimensió, podria implicar eximir d'algunes de les obligacions de mitigació a determinats països (Zhang & Shi, 2013)

Les dimensions llistades anteriorment han estat àmpliament revisades i estudiades i hi ha diversos exemples de la seva aplicació (Alcaraz et al., 2018). Tot i això, la dimensió del dret al desenvolupament sostenible està molt mancada d'exemples d'estudi e implantació. A

continuació treballarem més en profunditat sobre aquest concepte i presentarem possibles metodologies per a la seva operacionalització.

4. Desenvolupament

Des del colonialisme, la humanitat ha experimentat diversos projectes de desenvolupament. Seguint la divisió realitzada per McMichael (McMichael & Weber, 2021), per ordre cronològic, es poden distingir tres projectes durant la història recent de la humanitat: el colonialisme, el desenvolupament i la globalització.

Cal destacar la importància de la descripció històrica del desenvolupament recent de la humanitat. Amb el colonialisme es van crear sistemes i relacions desiguals entre països que han estat reproduïts en cadascun dels projectes (McMichael & Weber, 2021). Aquestes relacions han estat estudiades i revisades per diversos autors (Tausch, 2010). Si les interconnexions i interdependències creades pel colonialisme i els seus llegats perdurables no s'accentuen, és fàcil prendre el nostre món desigual de front i veure'l com un continu natural, acceptant la narrativa que alguns Estats simplement són avançats, mentre que altres han d'atrapar-los (McMichael & Weber, 2021).

El darrer projecte, la globalització, ha sofert grans crisis en els darrers anys, posant en dubte la seva legitimació (McMichael & Weber, 2021). Aquestes crisis poden dividir-se:

- Econòmica: l'economia de lliure mercat ha destruït economies senceres de països i a més, ha generat grans desigualtats arreu del món.

- Política: De forma nacional i local han aparegut moviments orientats tant a l'esquerra com a la dreta oposant-se al procés de la globalització.
- Ambiental: El procés de la globalització no ha generat aquesta crisi, però si ha agreujat una situació que ja venia del passat.

5. Desenvolupament sostenible

La implementació i consecució de cadascun dels projectes anteriorment llistats ha causat arreu del món grans problemes a nivell ambiental, econòmic i social. Degut a això, des de 1972 diverses accions han estat promocionades per part de les Nacions Unides per definir i formalitzar el concepte de desenvolupament sostenible.

La definició més clàssica d'aquest concepte és la realitzada a l'informe Brundtland l'any 1987 (United Nations, 1987). En aquest informe es defineix el terme sostenibilitat com:

“development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”

Un cop el concepte de desenvolupament sostenible va ser definit, han estat diverses les interpretacions. Des de la conceptualització dels tres pilars sobre els que el desenvolupament sostenible ha de sustentar-se: medi ambient, economia i aspectes socials (Broeders, 1996). Fins a la definició de les tres esferes, utilitzant les mateixes categories anteriorment llistades, però jerarquitzant-les, descrivint que les activitats econòmiques s'inclouen dins de la matriu social i aquesta al mateix temps es situa a l'ecosfera com es representa a la Figura 3.

El concepte de desenvolupament sostenible és acceptat a nivell internacional dins d'acords i principis; com en la declaració de Rio de

1992 en la qual s'inclou el terme com a principi (United Nations, 1992):

“The right to development must be fulfilled so as to equitably meet developmental and environmental needs of presents and future generations”



Figura 3. Interpretació jerarquizada del concepte de Desenvolupament Sostenible. Font: Stockholm Resilience Center, 2016.

Quan el concepte de desenvolupament sostenible va començar a agafar força en el context internacional, existia un cert consens en caldria la necessitat de desenvolupar indicadors i informació quantitativa per a mesurar la progressió i implementació (Eustachio et al., 2019). Amb aquest objectiu en ment, Nacions Unides va proposar els 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) l'any 2015.

6. Dret al desenvolupament sostenible i el canvi climàtic

Tal i com s'ha presentat anteriorment, la dimensió del dret al Desenvolupament Sostenible com a variable per a la repartició equitativa de les emissions de GEH no ha estat treballada amb profunditat. A continuació, presentem possibles opcions metodològiques per fer-ho.

Per a poder realitzar una correcta atribució de les emissions en funció del dret al desenvolupament sostenible, és clar que haurem sempre de referir-nos al terme sostenibilitat. D'aquesta manera garantim que el dret al desenvolupament de cadascuna de les nacions es compleixi tant per les generacions presents com per a les futures, però a la vegada tenint en compte els límits ecològics del nostre planeta.

Existeixen models per a la repartició de les emissions en funció al dret al desenvolupament. Hi ha exemples utilitzant l'indici de riquesa disponible per persona al dia. En aquest cas aquells països situats per sota del nivell definit, tenen com a prioritat el desenvolupament de la seva població per sobre de la reducció d'emissions (Kantha et al., 2010).

Seguint aquesta línia per al nostre cas d'estudi, és important fer una revisió dels possibles índexs de mesura del desenvolupament sostenible actuals per a poder utilitzar-los com a referència per realitzar una repartició equitativa de les emissions a nivell global. Aquests índexs a l'hora han de presentar certes condicions per a poder ser utilitzats:

- Tenir reconeixement internacional
- Disponibilitat de mesures per a diversos països de manera que formin una mostra prou representativa
- Disposar de dades per un període de temps rellevant

6.1. Objectius de Desenvolupament Sostenible

Tal i com hem comentat anteriorment, el principal indicador utilitzat per a la mesura de la sostenibilitat són els 17 ODS. Al ser una mesura tan desagregada, 17 objectius amb 8-12 sub-objectius cadascun, hauríem de trobar un factor que recollís tota la informació que aquests índexs ens aporten.

Diverses organitzacions realitzen la mesura del que anomenen índex dels ODS. Un índex conjunt del rendiment de cada país en funció de la puntuació en cadascun dels ODS (Sustainable Development Report, 2022). A partir d'aquesta mesura, podem definir un llinar a partir del qual els països amb un nivell inferior han de concentrar-se principalment en mesures per a millorar el desenvolupament del país i no tant en la reducció de les emissions de GEH.

Tot i això, existeixen diverses crítiques a com els ODS mesuren i mostren la sostenibilitat. Aquests estudis posen èmfasi en el fet que la majoria de països que encapçalen i tenen les puntuacions més altes en l'índex ODS, també són aquells que tenen majors nivells de petjada ecològica (Wackernagel et al., 2017). Per tant, utilitzar aquest índex com a referència podria suposar que aquells països amb l'objectiu de millorar la seva puntuació en els ODS, en busca de la consecució de l'objectiu de desenvolupament sostenible, repliquessin el model dels països del nord global, amb uns impactes i pressions sobre el medi ambient molt superiors del que actualment els límits planetaris permeten i per tant, agreujant el problema sense realment implementar un camí de desenvolupament alternatiu.

6.2. Índex de Desenvolupament Humà

L'índex de desenvolupament humà va ser introduït l'any 1990 (UNDP, 1990). Va ser construït com a alternativa a la mesura del desenvolupament que fins aquell moment havia estat basat en la variable econòmica del PIB. Amb aquest indicador s'introdueixen aspectes socials (educació i sanitat), a part dels econòmics, en la mesura del desenvolupament dels països. Tot i que és un indicador amb gran acceptació internacional ha tingut també grans crítiques entre la comunitat científica. La més important d'elles destaca la falta de la dimensió ecològica en la mesura d'aquest índex (Hickel, 2020).

Degut a la manca de la mesura de la dimensió ecològica, aquest índex no pot ser considerat com un possible candidat. No incloure els límits naturals presents al nostre planeta comporta plantejar estratègies totalment nefastes envers als impactes sobre els ecosistemes.

Tot i això existeixen estudis en els quals s'ha intentat corregir les mancances presents en aquest índex, el següent cas n'és un exemple.

6.3. Índex de Desenvolupament Sostenible

Per a la formació d'aquest índex s'utilitza com a base el càlcul de l'Índex de Desenvolupament Humà però afegint dues noves variables: emissions de CO₂ per càpita i la petjada material. Aquests dos paràmetres permeten incloure en el càlcul de l'índex dues variables d'impacte ecològic de gran rellevància.

A més, s'introdueix una modificació en la part econòmica del càlcul de l'índex, definint un cert límit màxim de renda per càpita. Degut a l'alta correlació entre ingressos i impactes ambientals, es fixa un límit

màxim a partir del qual la puntuació de l'índex no augmenta, al contrari del que succeeix en el cas de l'Índex de Desenvolupament Humà (Hickel, 2020).

Un cop calculat aquest índex es pot apreciar com els resultats són diferents a la resta dels índexs fins ara analitzats. Els considerats països del nord global no ocupen les primeres posicions del rànquing (Hickel, 2020).

En el suposat cas d'utilitzar aquest índex, existeixen dos problemes. En primer lloc, és un índex no acceptat en clau internacional i per tant, actualment no l'utilitza cap organització per calcular el nivell de desenvolupament sostenible de diferents regions del món. En segon lloc, buscant mostrar un índex de sostenibilitat eliminant les mancances de l'índex de desenvolupament humà, perdem la visió d'aquells països més necessitats, fent més difícil la definició d'un líndar. Per tant, la definició del límit a partir del qual dividir el nivell d'emissions no és tan senzill com en els altres casos, i seria necessari un estudi més detallat.

6.4. Espai de desenvolupament just i segur

En aquest cas s'utilitzen els conceptes de límits planetaris, petjada ecològica i necessitats bàsiques. Els límits planetaris corresponen a nou variables ecològiques mesurables crítiques per a la supervivència del ésser humà. D'altra banda, la petjada ecològica correspon a la mesura de les pressions que les societats exerceixen sobre el medi natural (emissions de CO₂, extracció de materials, etc.). Mitjançant la combinació d'aquests dos paràmetres es defineix el nivell de sostenibilitat de diferents regions arreu del món (O'Neill, 2018).

Per altra banda, es segueix la definició de necessitats humanes plantejades en la teoria *Doughnut Economics* proposada per Raworth (Raworth, 2017). En aquest cas es defineixen onze objectius socials mesurables i per cadascun d'ells s'especifica un nivell llindar per sobre del qual, es suposa que les necessitats queden cobertes.

Combinant el nivell de sostenibilitat de cada país i el nivell de cobertura de les necessitats bàsiques definides, es genera una classificació a partir del conjunt de necessitats cobertes versus els límits planetaris traspassats.

L'ús d'aquest índex presenta també dues problemàtiques. Com en el cas anterior, internacionalment no és un índex reconegut i per tant, a dia d'avui, no existeixen mesures ni països que acceptin el seu ús. Per altra banda, les mesures de la cobertura de necessitats bàsiques és un tema molt discutit per la comunitat científica. Diferents concepcions de societats arreu del món no queden reflectides en aquests tipus de classificacions i per tant poden comportar mesures i decisions errònies (Gough, 2015).

7. Conclusions

Per a l'avenç de les negociacions climàtiques és de vital importància incloure les reclamacions d'equitat per part dels països del sud global. Aquest reconeixement no ha de ser tan sols simbòlic si no que ha d'incloure la operacionalització d'aquest principi en decisions de repartiment d'emissions.

Tenint en compte el dret al desenvolupament sostenible hem estudiat diferents índexs i opcions per a poder implantar una metodologia de repartició equitativa de les emissions de GEH. Tot i que cap dels índexs presentats compleix amb totes les característiques necessàries,

existeixen diverses opcions que poden ser treballades amb més profunditat i presentades en futurs estudis en forma de metodologia per a la repartició equitativa de les emissions de GEH.

Referències

- Ajani, J. I., Keith, H., Blakers, M., Mackey, B. G., & King, H. P. (2013). Comprehensive carbon stock and flow accounting: A national framework to support climate change mitigation policy. *Ecological Economics*, 89, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.010>
- Alcaraz, O., Buenestado, P., Escribano, B., Sureda, B., Turon, A., & Xercavins, J. (2018). Distributing the global carbon budget with climate justice criteria. *Climatic Change*, 149(2), 131-145. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2224-0>
- Archer, D., & Brovkin, V. (2008). The millennial atmospheric lifetime of anthropogenic CO₂. *Climatic Change*, 90(3), 283-297. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9413-1>
- BASIC (2011). *Equitable access to sustainable development: Contribution to the body of scientific knowledge*. BASIC expert group: Beijing, Brasilia, Cape Town and Mumbai.
- Broeders, J. H. (1996). The green reader : Essays toward a sustainable society. *Electronic Green Journal*, 1(5). <https://doi.org/10.5070/g31510241>
- Climate change and duties to protect with regard to fundamental rights. (2021). *Climate Change Litigation*. <https://doi.org/10.5040/9781509948741.ch-004>
- Coleman, J. L. (1992). *Risks and wrongs*. Oxford University Press, USA.
- Dong, W., Huang, J., Guo, Y., & Ren, F. (2015). Responsibility for historical climate change induced from developed and developing world anthropogenic carbon emissions. *Springer Atmospheric Sciences*, 185-191. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48444-9_4
- Duff, R. A. (2007). *Answering for crime: Responsibility and liability in the criminal law*. Bloomsbury Publishing.
- Eustachio, J. H., Caldana, A. C., Liboni, L. B., & Martinelli, D. P. (2019). Systemic indicator of sustainable development: Proposal and application of a framework. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118383>
- Gough, I. (2015). Climate change and sustainable welfare: The centrality of human needs: Fig. 1. *Cambridge Journal of Economics*, 39(5), 1191-1214. <https://doi.org/10.1093/cje/bev039>
- Heyward, M. (2007). Equity and international climate change negotiations: A matter of perspective. *Climate Policy*, 7(6), 518- 534. <https://doi.org/10.1080/14693062.2007.9685674>

- Hickel, J. (2020). The sustainable development index: Measuring the ecological efficiency of human development in the Anthropocene. *Ecological Economics*, 167, 106331. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.011>
- Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F., & Moneo, M. (2006). Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water Resources Management*, 21(5), 775-788. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9111-6>
- IPCC (2014): *Technical Summary*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2021): *Technical Summary*. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 33–144. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.
- IPCC (2022): *Technical Summary*. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.002>.
- Kartha, S., Baer, P., Athanasiou, T., & Kemp-Benedict, E. (2010). The right to development in a climate constrained world: The greenhouse development rights framework. *Der Klimawandel*, 205-226. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92258-4_12
- Mattoo, A., & Subramanian, A. (2012). Equity in climate change: An analytical review. *World Development*, 40(6), 1083-1097. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.11.007>
- McMichael, P., & Weber, H. (2021). *Development and social change: A global perspective* (7h ed.). Sage Publications.
- McKinnon, C. (2015). Climate justice in a carbon budget. *Climatic Change*, 133(3), 375-384. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1382-6>
- O'Neill, D. W., Fanning, A. L., Lamb, W. F., & Steinberger, J. K. (2018). A good life for all within planetary boundaries. *Nature Sustainability*, 1(2), 88-95. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>
- Oxfam (2022). *Climate finance short-changed: The real value of the \$100 billion commitment in 2019-20*. Oxfam GB, Oxfam House. <https://doi.org/10.21201/2022.9752>
- Owens, S. (1990). The greenhouse effect: Negotiating targets. *International Affairs*, 66(4), 810-810. <https://doi.org/10.2307/2620390>
- Raworth, K. (2017). Why it's time for doughnut economics. *IPPR Progressive Review*, 24(3), 216-222. <https://doi.org/10.1111/newe.12058>

- Rawls, J., & Rawls, P. J. (1999). *A theory of justice*. Belknap Press. <https://doi.org/10.4159/9780674042582>
- Smith K. R. (1991). *Allocating Responsibility for Global Warming: The Natural Debt Index*. *Ambio* 20, 95 – 96. ISSN: 0044 – 7447.
- Starkey, R. (2010). Assessing common(s) arguments for an equal per capita allocation. *The Geographical Journal*, 177(2), 112-126. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2010.00359.x>
- Sustainable Development Report. (2022). *Sustainable Development Report 2022: From Crisis to Sustainable Development: the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond*. <https://dashboards.sdgindex.org/>
- Stockholm Resilience Center (2016). *Sustainable Development Goals: Contributions to Agenda 2030*. <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2017-02-28-contributions-to-agenda-2030.html>
- Tausch, A. (2010). Globalisation and development: The relevance of classical “dependency” theory for the world today. *International Social Science Journal*, 61(202), 467-488. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2451.2011.01786.x>
- United Nations (1986). *Declaration on the Right to Development*. *General Assembly resolution 41 / 128*. <https://www.ohchr.org/sites/default/files/rtd.pdf>
- United Nations (1987). *Our Common Future*. *Report of the World Commission on Environment and Development*. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- United Nations (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. *21st Conference of the parties*, p.3 https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- United Nations Development Programme (1990). *Human Development Report 1990*. <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-1990>
<https://doi.org/10.18356/7007ef44-en>
- UNFCCC (2022). *Sharm el-Sheikh Implementation Plan*. *27th Conference of the parties*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2022_L19_adv.pdf
- UNFCCC (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf
- Wackernagel, M., Hanscom, L., & Lin, D. (2017). Making the sustainable development goals consistent with sustainability. *Frontiers in Energy Research*, 5. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00018>
- Zhang, Y., & Shi, H. (2013). From burden-sharing to opportunity-sharing: Unlocking the climate negotiations. *Climate Policy*, 14(1), 63-81. <https://doi.org/10.1080/14693062.2014.857979>

Zheng, X., Streimikiene, D., Balezentis, T., Mardani, A., Cavallaro, F., & Liao, H. (2019). A review of greenhouse gas emission profiles, dynamics, and climate change mitigation efforts across the key climate change players. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1113-1133. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.140>

INCORPORACIÓ D'ASPECTES SOBRE LA PERSONA EN EL PROJECTE DE DISSENY EN L'ENGINYERIA

Mireia Puig-Poch

ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (UPC)

Resum

Aquest treball neix de la intenció de facilitar la inclusió d'aspectes relacionats amb la persona en el projecte de disseny en l'enginyeria perquè no quedin com a una característica residual. Es considera que els aspectes humans han de formar part del projecte des del moment que es caracteritza el repte de disseny i que cal que es tradueixin en premisses projectuals a respectar durant tot el desenvolupament del producte. Amb aquest objectiu, es recull com a referència principal el sistema persona/artefacte definit per l'ergonomia, s'extreuen cinc àmbits de definició que es converteixen en cinc variables (entorn, persona, artefacte, finalitat i acció) que han d'acompanyar el dissenyador en les diverses fases projectuals.

Paral·lelament, es revisen les metodologies pròpies del disseny pròximes al disseny centrat en l'usuari perquè es considera que disseny i ergonomia comparteixen la intenció de millorar la interacció entre la persona, l'entorn i els artefactes de l'entorn.

La proposta d'anàlisi a partir de les cinc variables es posa en pràctica en una assignatura del màster d'Estudis Avançats en Disseny-Barcelona (MBDesign) per avaluar el diferent punt de partida d'objectes d'ús comú, i així, fer explícit el factor humà en la presa de decisions projectuals.

Abstract

The origin of this article is the intention to facilitate the inclusion of aspects related to the person in the engineering design project so that they do not remain as a residual characteristic. It is considered that the human aspects must be part of the project already when the design challenge is defined, and they must be translated into project premises respected throughout the development of the product. With this goal, the person/artifact system defined by ergonomics is taken as the main reference and from it have been extracted five areas. These areas become the five variables (environment, person, artefact, purpose, and action) which must accompany the designer in all project phases.

At the same time, the design methodologies close to user-centered design are reviewed because it is considered that design and ergonomics share the intention of improving the interaction between the person, the environment, and the artefacts of the environment.

The analysis system based on the five variables is put into practice in a subject of the master's degree in Advanced Studies in Design-Barcelona (MBDesign) to evaluate the different starting point of objects of common use, and thus, make explicit the human factor in making project decisions.

1. Introducció

El disseny és una disciplina que engloba el món artificial de forma general, per tant, una de les seves principals característiques és l'elevada variabilitat tant en la seva conceptualització, com en la seva definició, així com l'objecte de les seves tasques (Martí Font, 1999). És coneguda la complexitat a la qual s'enfronten les persones que es dediquen a configurar-lo, sobretot degut al ràpid avanç tecnològic i a la complexitat d'àmbits que interaccionen en el disseny i la presa de decisions (Norman, 2010). Tanmateix, aquesta comunicació s'aparta d'aquest camí cap a la innovació i gira la mirada cap a la persona i l'experiència d'usuari, com a factor clau a tenir en compte en l'origen de les idees (Kuang i Fabricant, 2019). Es tracta de posar especial atenció i atorgar rellevància a dos conceptes que construeixen l'experiència personal i que es consideren imprescindibles en

qualsevol projecte de disseny: la persona i la interacció, amb la idea que una bona definició d'ambdós qüestions es traduirà en productes eficients, eficaços i, també, satisfactoris respectant la persona usuària.

Per tant, el disseny centrat en les persones es converteix en el marc conceptual que guia aquest discurs. Des d'aquesta visió antropocèntrica, es considera imprescindible la inclusió de la persona en el desenvolupament del projecte de disseny, però no com a element present al llarg del recorregut, sinó com a part definitiva del repte de disseny, és a dir, en el moment més inicial del projecte, en una fase de recerca prèvia que ha de definir els requeriments o premisses del projecte.

Paral·lelament, es considera que la metodologia projectual escollida té implicacions en el desenvolupament del projecte i que, per tant, el marc genèric conceptual des del qual neix el projecte ha de dictaminar aquesta metodologia. És a dir, un projecte de disseny centrat en les persones ha de reunir certes característiques metodològiques per a què la persona realment hi aparegui com a punt central.

Per aquesta raó, es revisen diverses metodologies d'ús comú, per veure quines afavoreixen la centralitat de la persona. En general, tenen algunes característiques compartides, per exemple, dibuixen les fases del projecte i sempre deixen la porta oberta a adaptacions concretes definides pel mateix projecte en curs. Jones (1970, 2a ed. 1992) estableix tres fases per al procés projectual: *anàlisi, síntesi i avaluació*, que s'acaben transformant en divergència, transformació i convergència. Aquest autor introdueix els conceptes de *divergència i convergència* tan usuals en les metodologies actuals, com el Design Thinking (DT) de la d.school associada a la universitat d'Stanford o la proposta del Doble Diamant (DD) del Design Council britànic.

Aquestes dues metodologies es basen en fases iteratives que recorren el projecte. Es tracta de fases associades a certes eines que ajuden al dissenyador a avançar en el camí projectual de forma creativa, i que combinen la divergència i la convergència fins a la concreció d'una proposta. En el cas del DT⁶, les fases són empatia, definició, ideació, prototipat i testeig; i en el cas del DD⁷, descoberta, definició, desenvolupament i lliurament. A més a més, les dues metodologies introdueixen la persona usuària de forma més o menys participativa i advoquen per la mirada empàtica i per seguir processos multidisciplinaris que enriqueixin els resultats.

Per altra banda, resulta especialment interessant la proposta de Paul Hekkert i Matthijs van Dijk (2011) que basen l'estructura del projecte a partir de la definició d'un context futur que es vol assolir. Aquí es pot observar (vegeu Figura 1) una fase de recerca, dibuixada a l'esquerra, en gris, que neix del producte, passa per la interacció i acaba en el context; seguida d'una fase de desenvolupament, dibuixada a la dreta, en color, que neix en el context, passa per la interacció i acaba en el producte.

Aquest recorregut projectual originari de la Universitat Tècnica de Delft (TUDelft) es converteix una proposta que prioritza la innovació, ja que planteja contextos futurs no assolits i conseqüentment abraça el repte de com assolir-los. A més a més, posa especial èmfasi en la definició de la interacció, previ a la formalització de l'objecte. Per tant,

⁶ Revisar els principis del Design Thinking i la proposta metodològica de la d.school de la Universitat d'Stanford en el portal <https://dschool.stanford.edu/about>

⁷ Revisar els principis del Doble Diamant i la proposta metodològica del Design Council en el portal <https://www.designcouncil.org.uk/>

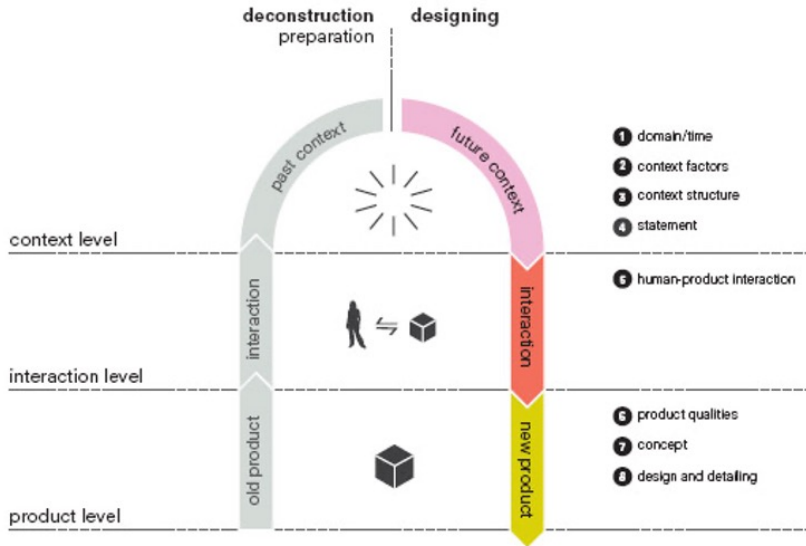


Figura 1. Esquema metodològic. Font: Hekkert i van Dijk, 2011, p. 119.

prioritza definir les accions requerides a la persona usuària, abans que la proposta formal del producte, i així prioritza respectar-ne les seves característiques, necessitats i limitacions.

És en aquest moment que es fa evident que l'ergonomia, com a disciplina humana, pot ajudar en el procés de definició de la interacció, ja que no pretén altra cosa que adequar entorns a la persona, o, dit d'una altra manera, configurar la interacció entre entorn i persona per tal de respectar les característiques, les necessitats i les limitacions humanes (McCormick, 1980).

L'ergonomia prospectiva definida pels francesos Jean-Marc Robert i Eric Brangier obre un recorregut projectual paral·lel al disseny que ofereix la possibilitat de treballar els processos de disseny en

l'enginyeria des del vessant humà si s'aposta per definir la interacció, i per tant, l'experiència d'usuari, amb premisses de disseny que respectin la persona i que s'inclouin en el brief inicial del projecte.

En aquesta comunicació, es planteja un recorregut projectual per a la fase de recerca que assenti les bases d'un disseny centrat en la persona al definir el repte de disseny des d'aquesta perspectiva. Es busca definir les fases de recerca i els marcs genèrics conceptuals que han de guiar el procés. Per fer-ho, es defineixen cinc variables, inspirades en el sistema persona / màquina que, des de l'ergonomia, configura la interacció entre la persona i el producte. Aquestes variables pretenen abastar la complexitat de l'objecte des de les seves diverses facetes amb la intenció d'igualar-ne la importància i són la síntesi de diverses propostes d'autors com Tillman et al., (3a ed 2016), Sanders i McCormick (7a ed. 1993) i Nogareda (coor.) (5a ed. 2008). Les cinc variables s'agrupen en els àmbits següents: *persona*, *entorn*, *acció*, *finalitat* i *artefacte*. Són una proposta temàtica que sorgeix des de l'ergonomia per a qualsevol base metodològica i per a les diverses fases projectuals que s'hi descriuen, inclosa la fase inicial de recerca que ha de permetre definir el repte de disseny basat en la persona.

A partir d'aquestes cinc variables ergonòmiques i fent ús de les eines creatives especialment usuals en els processos de disseny, l'objectiu és definir un brief de disseny centrat en les persones que en respecti característiques, necessitats i limitacions, a la vegada que hi sumi els seus desitjos, per poder desenvolupar tot tipus de projectes dins del marc del disseny i l'enginyeria.

2. Ergonomia i disseny

L'ergonomia és per definició⁸ una disciplina multidisciplinària que pretén adequar l'entorn a les persones que l'habiten. Tot i que tradicionalment s'associa a tasques i processos laborals, la configuració del món artificial va més enllà d'aquest àmbit i engloba tot tipus de disseny, enginyeria o arquitectura, ja que es tracta del món sobre el qual es prenen decisions que poden ser favorables per a les persones i per al món natural.

Per tant, es tracta d'una disciplina molt pròxima a l'àmbit del disseny, però amb un punt de partida que inclou un profund coneixement de la persona relacionat amb aspectes físics de tendència objectiva (característiques anatòmiques, dimensionals, posturals, biomecàniques, etc.), aspectes cognitius de tendència subjectiva (percepció, experiència, capacitat d'aprenentatge, relació i memorització, satisfacció, etc.), així com aspectes organitzatius (relacionats amb l'entorn i les relacions humanes).

Ergonomia i disseny comparteixen la preocupació de la interacció entre la persona, l'entorn i els artefactes de l'entorn, tal i com es pot veure amb propostes metodològiques com la de Hekkert i van Dijk (2011). Les dues disciplines, ergonomia i disseny, pretenen que aquesta interacció gaudeixi d'eficàcia, seguretat i confort. Per tant, en la versió més prospectiva de l'ergonomia, les dues disciplines es desenvolupen de forma paral·lela i es complementen entre elles.

⁸ Definició d'ergonomia de l'Associació Espanyola d'Ergonomia (AEE): "Ciència aplicada de caràcter multidisciplinari, la finalitat de la qual és l'adequació de productes, sistemes i entorns artificials a les característiques, limitacions i necessitats de les persones / usuaris, amb la finalitat d'optimitzar la seva eficàcia, seguretat i confort".

A continuació es revisen les claus d'aquesta tasca per poder-les utilitzar en una proposta que acompanyi la metodologia escollida per la fase de recerca inicial i que tingui en compte els aspectes humans que han de prevaler durant la ideació, la formalització i el desenvolupament del projecte i que es pretenen concretar a través de premisses i requeriments en un brief de disseny guiades per les cinc variables.

2.1. Ergonomia prospectiva

Robert i Brangier (2009) proposen una ergonomia que enfoca els seus esforços en trobar nous reptes basats en l'experiència, les necessitats, els desitjos i les problemàtiques humanes. Una intenció similar al DT o als processos de cocreació d'Elizabeth Sanders (2008). Robert i Brangier se centren en diferenciar l'ergonomia prospectiva, de l'ergonomia tradicional de caràcter correctiu i preventiu, ja que consideren que és una disciplina preparada a nivell metodològic i prou àmplia com per a fer propostes per un futur per definir. Caracteritzen la disciplina a partir d'una naturalesa anticipativa, ja que es tracta de preveure quin element seria interessant tenir en un futur "que pugui millorar o canviar el món" (Robert i Brangier, 2015, p.1). Ho defineixen com "la part de l'ergonomia que intenta anticipar les necessitats i activitats humanes per crear nous artefactes que siguin útils i proporcionin experiències d'usuari positives" (Robert i Brangier 2009, p. 165). També afirmen que això serà possible a través del profund coneixement de la persona usuària en el seu entorn propi, d'una manera molt similar a la fase d'empatia del DT.

És interessant fer esment d'aquesta proposta perquè atorga a l'ergonomia una capacitat projectiva que no sol ser habitual. Aquest

fet, sumat al coneixement que aporta l'ergonomista al voltant de les característiques físiques, cognitives i relacionals de la persona, el converteixen en un observador preparat per a l'avaluació de la usabilitat i l'experiència d'usuari. És a dir, l'ergonomista es converteix en un element de valor des de la part humana de l'anàlisi, sobretot quan la seva tasca es basa en definir les accions que ha de realitzar la persona usuària. És a dir, primer es defineixen les accions humanes desitjades i requerides per assolir un objectiu tenint en compte característiques, limitacions, necessitats i desitjos, i després s'adequa l'artefacte perquè siguin possibles, tenint en compte, característiques dels materials, capacitat tècnica i tecnològica, processos de fabricació, etc., així com també, parts, peces o controls necessaris.

Des de la visió àmplia de l'ergonomista, s'aporta informació cabdal que no només és fruit de l'observació, sinó que prové d'un coneixement previ com a especialista en qüestions humanes. Per això, resulta especialment interessant introduir aquesta mirada en processos de recerca inicial per definir reptes de disseny, ja que poden aportar un coneixement valuós per a la formulació de requeriments de caràcter humà. Per tant, dotar els alumnes d'aquesta mirada és un punt positiu respecte la seva mirada tècnica provinent de l'enginyeria.

Relacionat amb les cinc variables citades anteriorment, prenen valor les variables d'acció i de persona que són les que defineixen els requeriments dels aspectes humans.

2.2. Les cinc variables

El sistema persona/artefacte, amb termes actualitzats del tradicional sistema home/màquina, organitza el projecte des de l'ergonomia, i

com afirma Bustamante (2008) “sempre és còmplice de l’home [persona] enfront del sistema home/màquina [persona/artefacte]” (Bustamante, 2008, p.16). Les cinc variables que es proposen ajuden a organitzar aquest sistema tenint en compte que una de les seves característiques principals és que cada variable és dependent de la resta. Com a sistema, no es poden tenir en compte de forma independent, sinó que sempre existeix una relació entre elles. Aquest esquema d’interdependència es reproduïx gràficament a la Figura 2, on es caracteritza el projecte al centre i les cinc variables envoltant-lo.

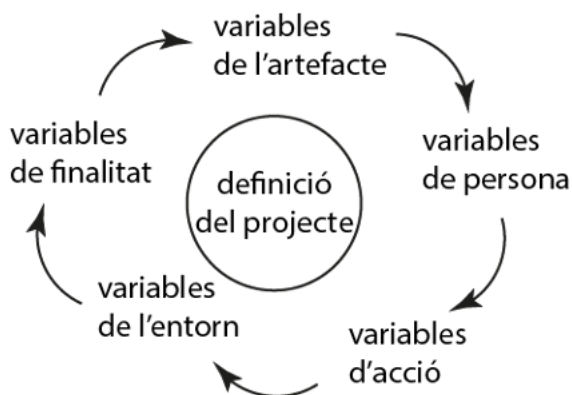


Figura 2. Les cinc variables del sistema persona/ artefacte. Font: Elaboració pròpia.

Les *variables de persona*, que formen part del binomi que dona nom al sistema, fan referència a les característiques humanes, tant objectives, per exemple, l’antropometria; com subjectives, relacionades amb qüestions de percepció i altres funcions cognitives. La caracterització d’aquestes variables es concreta a través d’un usuari arquetip.

L'artefacte és l'altra part del binomi, es caracteritza a través de les *variables d'artefacte* i defineix les funcions tècniques, actives i passives, així com qüestions sobre materials o producció.

Les variables que defineixen la interacció entre les dues parts del binomi són les *variables de finalitat* i les *variables d'acció*. Les primeres aporten un objectiu al projecte, el repte a solucionar. Les segones defineixen com ha de ser la relació entre la persona i l'artefacte, i per tant, estan estretament relacionades amb la usabilitat i l'experiència d'usuari, elements clau en el desenvolupament del producte com es pot llegir en autors com Donald Norman (1990), més dirigit a l'àmbit de producte, i Jakob Nielsen (1994), més dirigit a l'àmbit digital i autor dels 10 heurístics que tot dissenyador digital té sobre la taula⁹.

Finalment, les *variables d'entorn*, situen el projecte en un espai i un temps, a la vegada que el relacionen amb sistemes superiors i inferiors. Aquestes variables són imprescindibles per poder adaptar el projecte des d'un artefacte senzill, com un martell, fins a artefactes de major complexitat com un automòbil o un habitatge.

Resumint, les cinc variables aporten una visió holística i sistèmica per omplir de contingut cada una de les fases del projecte, per tant, són una eina que afavoreix l'estructura i que predisposa a tenir en compte factors dels diferents àmbits: persona, artefacte, acció, finalitat i entorn.

⁹ Vegeu el portal NN Group per més informació al respecte <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>

3. Aplicació a l'aula de l'anàlisi a través de les cinc variables

Com a exemple concret d'aplicació de les variables es presenta un exercici dut a terme en el marc de l'assignatura de Disseny, Teoria i Crítica del màster interuniversitari d'Estudis Avançats en Disseny-Barcelona (MBDesign).

Tal com indica el seu nom, aquesta assignatura pretén desenvolupar la mirada crítica dels estudiants envers al disseny i les seves aplicacions des de diferents punts de vista per desvelar les diverses implicacions del projecte. Concretament, amb l'exercici que es descriu a continuació, que forma part del tema 3 Els Valors del Disseny, es convida a l'alumne a reflexionar sobre un producte a través de les cinc variables per arribar a respondre de la pregunta, des d'on neix l'objecte?

L'exercici es desenvolupa després d'una sessió de presentació del sistema de les cinc variables on s'expliquen les implicacions de cada una d'elles, la seva interrelació i la importància de tractar-les totes cinc des de la mateixa rellevància. Es clarifiquen els diversos punts de partida i la visió diferenciada que suposa partir de l'artefacte, la finalitat, la persona, l'entorn o l'acció.

Per a l'exercici, es demana als alumnes que escullin un producte que considerin especialment ben solucionat i que hi apliquin la descripció a través de les variables. Aquesta tasca classifica i estructura les diverses virtuts de cada un dels productes escollits. A continuació, es demana que analitzin cada una de les variables i que decideixin des de quin vessant es pot considerar com un producte innovador o que implica una diferència en comparació amb altres objectes afins. Cada alumne realitza el seu anàlisi i es fa una breu presentació dels resultats a la sessió següent on es discuteix el punt de partida definit.

4. Resultats

Per a l'edició del curs 22-23 els objectes escollits són relativament senzills, és a dir, que no requereixen de tecnologia i, en general, es tracta d'objectes d'ús habitual com el setrill o la cafetera italiana. Aquest fet és habitual sobretot per una qüestió temporal i d'abast de la resolució de l'exercici.

Tot i així, també s'analitza el reproductor de música portàtil, que es caracteritza per estar lligat a la tecnologia del moment. En aquest cas, el format d'emmagatzematge musical (cassette, CD, mp3, etc.) defineix l'objecte que pot reproduir-ho: des del *Discman* fins a l'*iPod*, obviant el telèfon mòbil que actualment actua com a tal gràcies a la permanent connectivitat. Tot i que no es poden obviar les decisions preses relacionades amb l'experiència d'usuari a l'hora de poder escoltar música a qualsevol lloc, la tecnologia actua com a motor d'innovació. Es tracta d'un exemple òptim per entendre l'abast sistèmic de la proposta d'anàlisi de les cinc variables, ja que la

tecnologia fa possible el reproductor, però l'experiència d'usuari el conceptualitza i formalitza.

A l'extrem oposat apareix la salsera de soja Kikkoman, dissenyada per Kenji Ekuan el 1961. Tal i com presenta l'alumna, es tracta d'un producte que neix de la necessitat d'optimitzar l'emmagatzematge de la salsa de soja i el servei a taula d'aquesta salsa imprescindible als àpats del país nipó.

Durant 60 anys, l'envàs s'ha mantingut pràcticament invariable per les virtuts que



Figura 3. Envàs per salsa de soja Kikkoman. Font:

[https://
www.kikkoman.es/](https://www.kikkoman.es/)

aporta en el seu ús, ja que és un element que encaixa a la taula, no degota, es pot reomplir amb facilitat, permet visualitzar l'interior, entre d'altres característiques. És doncs, un clar exemple on es pot situar el punt de partida en les variables d'acció i, per tant, en l'experiència d'usuari. El producte converteix una activitat que tenia una sèrie de problemàtiques, en una activitat senzilla i fluida, sobre la qual es deixa de prestar atenció, precisament per l'encert del producte que la fa possible.

5. Conclusions

Inicialment, la divisió entre variables no resulta especialment fluida perquè apareixen dubtes sobre on col·locar les diverses observacions. En aquest sentit, ha de quedar clar que no existeix una fórmula correcta o incorrecte, sinó que es tracta d'una estructura que ha de permetre ampliar l'àmbit de reflexió tenint en compte les diferents variables que componen el sistema. Per tant, el fet important és tenir quant més coses en compte millor, i independentment d'on col·loquen dins de les diverses variables, sempre que quedi ben organitzat i la informació no es repeteixi.

Més enllà d'aquest contratemps que millora amb la pràctica, es considera que efectivament es posa en valor el disseny a partir de les necessitats de les persones i que el punt de partida fluctua sobretot entre les variables d'acció i de persona. Per als alumnes que provenen de l'enginyeria, resulta més senzill descriure els productes a través de les seves característiques formals i tècniques, però l'esforç de revisar les implicacions del producte envers la persona, dona com a fruit conclusions relacionades majoritàriament amb l'experiència d'usuari i en l'intent de millorar les accions realitzades. Per tant, es pot

concloure que una estructura d'anàlisi pautaada, en aquest cas a través de les cinc variables inspirades en el sistema persona/artefacte ergonòmic, pot ser eficaç per a la inclusió d'aspectes relacionats amb la persona als projectes d'enginyeria en disseny.

El següent pas seria incorporar aquesta mirada en assignatures projectuals on l'objectiu no sigui l'anàlisi de productes existents, sinó l'aportació de nous productes, per avaluar si aquesta estructura millora la definició de premisses projectuals relacionades amb les característiques, limitacions, necessitats i desitjos de la persona.

Referències

- Bustamante, A. (2008). *Ergonomía para diseñadores*. Madrid: Editorial Mapfre SA
- Hekkert, P., & van Dijk, M. (2011) *Vision in Product Design: Handbook for Innovators*. Amsterdam: Bis Publishers.
- Jones, J. C. (1970, 2a ed. 1992). *Design Methods*. EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Kuan, C., & Fabricant, R. (2019). *User Friendly. How the hidden rules of design are changing the way we live, work, and play*. Londres: Penguin Random House UK.
- Martí Font, J. M. (1999). *Introducció a la metodologia del disseny*. Barcelona: Edicions de la Universitat de Barcelona.
- McCormick, E. J. (1980). *Ergonomía. Factores humanos en ingeniería y diseño*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-052029-2.50007-3>
- Nogareda, S. (coor.) (5a ed. 2008). *Ergonomía*. Madrid: Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el Treball. Ministeri de Treball i Immigració.
- Norman, D. (1990). *La Psicología de los objetos cotidianos*. Madrid: Nerea.
- Norman, D. (2010). *Living with complexity*. Londres: The MIT Press.
- Robert, J. M., & Brangier, E. (2009). What Is Prospective Ergonomics? A Reflection and Position on the Future of Ergonomics. A Karsh, B. (Ed.): *Ergonomics and Health Aspects, HCII 2009*, LNCS 5624, pp. 162-169. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Robert, J. M., & Brangier, E. (2012). Prospective ergonomics: origin, goal and prospects. *Work*, 4,, 5235-5242. Recuperat de https://www.academia.edu/26071190/Prospective_ergonomics_origin_goal_and_prospects <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0012-5235>

Robert, J. M., & Brangier, E. (Agost, 2015). Prospective Ergonomics for the Design of Future Artefacts: recommendations and methods. Comunicació presentada a 19è Congrés Triennal de la AIE. Melbourne. Recuperat de <https://iea.cc/congress/2015/1715.pdf>

REPLANTACIÓN DE POSIDONIA OCEÁNICA: ESTUDIO DE UNA ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Manel Balfegó Brull, Olga Alcaraz Sendra

EEBE. Departamento de Física

Bàrbara Sureda Carbonell

EEBE. Departamento de Ingeniería Gráfica y de Diseño

Resumen

El trabajo se basa en una investigación teórica y práctica de la replantación de posidonia oceánica como una herramienta viable y eficiente para la mitigación y adaptación del cambio climático en Cataluña. La posidonia aporta muchos servicios ecosistémicos a la sociedad. Las praderas de esta planta marina están en retroceso por causas humanas. Los impedimentos legales, la falta de eliminación de las perturbaciones y los elevados gastos asociados a los proyectos suelen ser un impedimento para el desarrollo a gran escala de proyectos de replantación. Se ha aplicado una metodología de innovación basada en la “quíntupla hélice” o de colaboración entre la administración pública, las universidades, la sociedad civil, las entidades de defensa del medio ambiente y las empresas. Se han germinado 581 recogidas en la playa después de un temporal y se ha conseguido una supervivencia del 20.1 % después de un año en tanques de circuito cerrado. Se ha obtenido una reducción del coste económico en un 64.7 %. Para promover más estas tipologías de restauración se alienta a realizar más pruebas piloto, adaptar la normativa vigente e incluir la restauración de praderas marinas en los planes y estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático de ámbito estatal y catalán.

Abstract

This work is based on a theoretical and practical investigation of the replanting of *posidonia oceanica* as a viable and efficient tool for mitigation and adaptation of climate change in Catalonia. *Posidonia* provides many ecosystem services to society. The meadows of this sea plant are retreating due to human causes. Legal impediments, the failure to eliminate disruptions and the high costs associated with projects are often an impediment to the large-scale development of replanting projects. An innovation methodology has been applied based on the quintuple helix or collaboration between public administration, universities, civil society, environmental organizations and businesses. 581 seeds collected on the beach after a storm have been germinated and a 20.1 % survival rate has been achieved after a year in closed-circuit tanks. The economic cost has been reduced by 64.7 %. To promote more of these restoration typologies, more pilot tests are encouraged, adapt the current regulations and include the restoration of sea grasslands to plans and strategies for mitigation and adaptation to climate change at state and Catalan level.

1. Introducción

1.1. Posidonia en l'Ametlla de Mar

La *Posidonia* oceánica es la especie endémica más importante y abundante de plantas marinas del Mediterráneo, capaz de crear praderas extensas desde la superficie hasta profundidades de 45 metros (Duarte, 1991). La pradera situada frente a l'Ametlla de Mar (Baix Ebre) es la más extensa de Cataluña (Díaz Almela & Marbà, 2009), aunque no alcanza niveles batimétricos tan profundos (aproximadamente 20 metros) debido a la turbidez provocada por los sedimentos provenientes de la desembocadura del Río Ebro.

Debido al alto valor que aporta al medio ambiente y a la sociedad, la *posidonia* se ha intentado proteger institucionalmente. A pesar de la protección otorgada, los ecosistemas marinos en general han ido degradándose directa e indirectamente por actividades antrópicas en los últimos años (Halpern, et al., 2015), a un ritmo creciente de

aproximadamente 7 % al año desde 1990 (Waycott et al., 2009). Específicamente en la posidonia, la disminución acumulada en la extensión de las praderas desde mediados del siglo XX ha sido de hasta el 60 % (Ardizzone et al., 2006). Esto es especialmente relevante si consideramos el lento crecimiento asexual y baja supervivencia de la reproducción sexual: la ratio de degradación es cientos de veces más rápida que la de crecimiento natural (Arnaud-Haond et al., 2012). Concretamente en el caso de l'Ametlla de Mar, el incremento del turismo y los acontecimientos climáticos extremos son los principales causantes de la degradación (Bonfill y Molina & Requena, 2021).

1.2. Servicios ecosistémicos

Estas praderas proporcionan uno de los servicios ecosistémicos costeros más valiosos del mundo por su función ecológica, física, económica y de sumidero de carbono (Vassallo et al., 2013). Los beneficios que proporcionan las praderas de posidonia pueden dividirse en cuatro grandes categorías: beneficios en biodiversidad, erosión costera, secuestro de carbono y otros beneficios socioeconómicos (Björk et al., 2008). En primer lugar, encontramos los beneficios para la biodiversidad, ya que en las praderas se pueden encontrar 700 especies diferentes. Estas praderas sirven de refugio frente a los depredadores para los peces juveniles y como fuente de alimento para equinodermos y algunos peces. (Beltrán et al., 2020). En segundo lugar, la posidonia también proporciona servicios de adaptación al cambio climático en términos de protección costera frente a las tormentas y a la subida del nivel del mar. Por un lado, las praderas, con sus hojas, ayudan a estabilizar el fondo marino y suavizan el efecto de las olas que protegen las playas de la pérdida de arena (Paul,

2018). En tercer lugar, esta planta desempeña un papel muy importante como sumidero de carbono. Algunos estudios sitúan su capacidad de secuestro de carbono a largo plazo en 6,56 tCO₂/ha/año (Trumper et al., 2009). Este valor es muy alto en comparación con otras especies, absorbiendo 2 veces más carbono que otras plantas marinas y 70 veces más que los bosques tropicales (Campagne et al., 2015). Por último, la posidonia proporciona otros servicios ecosistémicos como la generación de biogás (Balata & Tola, 2018), la construcción (Real Herráiz et al., 2016) y el tratamiento de aguas residuales en el mar (Campagne et al., 2015).

Los estudios que evalúan un número significativo de servicios ecosistémicos arrojan una valoración media de 18.924 €. El valor más alto lo indican Costanza et al. (1997) con 22.500 €/ha/año, seguido de Scanu, et al. (2022) con 21.660,5 €/ha/año, y Marcelli, et al. (2018) con 12.614 €/ha/año.

En cuanto a los costes de replantación, Vasallo, et al., los sitúan entre 400.000 €/ha y 1.420.000 €/ha, con un valor medio de 520.000 €/ha (2013). Sin embargo, Terrados, et al. mencionan que el precio por superficie disminuye a medida que aumenta la extensión y estiman los costes de replantación entre 104.576 €/ha para plantones y 158.720 €/ha para fragmentos (2018). En el caso más optimista, la recuperación de la "inversión" en la replantación de fragmentos, suponiendo una supervivencia del 100 %, tardaría menos de 5 años. Así, el análisis coste-beneficio sigue siendo positivo a largo plazo (De Groot, 2013). Estos costes siguen siendo elevados, pero este estudio pretende proponer métodos innovadores para reducirlos.

En cuanto a las pérdidas económicas debidas a la destrucción de pastizales, se estiman en 1.100 millones de euros entre el periodo

1861-2019 (Burgos et al., 2017). Es importante mencionar que, según el estudio mencionado, estas pérdidas son superiores al valor añadido por el turismo en el mismo periodo.

1.3. Impactos naturales y antrópicos

Las praderas de posidonia, como todos los ecosistemas, están expuestas a perturbaciones que, según la bibliografía (Grup de Treball d'Hàbitats d'Interès Pesquer, 2016), pueden ser naturales o antropogénicas. De forma habitual, las explicaciones son multifactoriales y pueden ser difíciles de diferenciar, por lo que solo se hará una distinción entre perturbaciones directas e indirectas.

Impactos directos

1. El desarrollo costero afecta directamente a las praderas a través de la construcción de muelles, cables eléctricos y tuberías submarinas de alcantarillado, entre otros.
2. La pesca ilegal de arrastre de fondo supone un riesgo para la posidonia. Aunque la normativa pesquera prohíbe la pesca con artes de fondo en presencia de praderas marinas, se produce pesca ilegal.
3. Los impactos turísticos se producen durante los meses de verano principalmente por el fondeo de embarcaciones de recreo. Debido a los efectos de las corrientes y al viento, la embarcación y el ancla se mueven y el ancla arranca del fondo del mar y destruye entre 6 y 34 rizomas por cada ciclo de fondeo (Carreño & Lloret, 2021).

Impactos indirectos

1. La degradación de la calidad del ecosistema en el que vive la planta también puede ser perjudicial. Esto puede ocurrir por un exceso de materia orgánica en suspensión de los sedimentos procedentes de los ríos, por fallos en las conducciones de aguas residuales o por vertidos de residuos directamente al mar.
2. La introducción de especies alóctonas como *Caulerpa taxifolia* o *Caulerpa racemosa* repercute en el desarrollo de estas plantas.
3. El cambio climático también puede afectar a las praderas de posidonia. Por un lado, existen perturbaciones puntuales causadas por fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor y tormentas, que pueden verse incrementadas por las consecuencias del cambio climático. Las tormentas pueden destruir hasta el 50 % de la superficie de una pradera en un solo día (Oprandi et al., 2020). Por otro lado, existen perturbaciones persistentes como la acidificación del agua del mar y el aumento de la temperatura media.

1.4. Experiencia previa de plantación

La conservación pasiva de las praderas marinas en Cataluña se ha llevado a cabo a través de la legislación y otras actuaciones específicas de organismos públicos. Destaca la instalación de puntos de fondeo ecológicos y boyas para evitar que las embarcaciones de recreo fondeen a menos de 200 metros de la línea de costa (Díaz Vendrell et al., 2016). Además, se han realizado importantes trabajos de generación de material cartográfico y de seguimiento. El alcance de las acciones de conservación pasiva ha sido, al menos, limitado en

ámbitos geográficos y temporales, aunque algunos autores afirman, al menos en 2012, que, con el estado actual del conocimiento, la conservación pasiva es prioritaria y más rentable (Boudouresque & Meinesz, 2012).

En cuanto a las acciones de conservación activa, existen varias experiencias tempranas de consolidación del sustrato y trasplante en la cuenca occidental del Mediterráneo, principalmente. Sin embargo, no existe mucha literatura científica sobre acciones de repoblación a gran escala y, las que se han reportado, suelen requerir una elevada inversión económica y son poco efectivas (Alagna et al., 2019). Para conocer los diferentes tipos de acciones de replantación, se ha realizado una amplia recopilación de estudios. A continuación, se describen cinco clasificaciones principales de acciones de conservación activa de praderas de posidonia, que pueden no ser exhaustivas.

En Cataluña, cuando se inició el presente proyecto en 2020 no había constancia de otros proyectos de replantación. A finales de 2021 se han puesto en marcha pequeños proyectos cerca del Puerto de Tarragona y de L'Hospitalet de l'Infant (Universitat Rovira i Virgili, 2021). Se trata, pues, de uno de los proyectos pioneros en Cataluña. La experiencia acumulada en estos proyectos ha servido de base para la metodología de trabajo que aquí se presenta.

Tipologia	Consolidación de sustrato	Replantación directa
Objetivos	Regeneración	Prevención
Partes usadas	Semillas/Plántulas	Fragmentos
Origen	Antropogénico (extracción directa y ecológicamente peligrosa)	Natural (extracción de semillas y fragmentos fuera del ciclo biológico)
Geografía	Mediterráneo (Italia, Francia, Islas Baleares, Andalucía, Murcia, Valencia)	Otras plantas (EE.UU., Japón, Australia, Nueva Zelanda)

Tabla 1. Clasificación de los proyectos de plantación de posidonia. Fuente: Elaboración propia.

1.5. ¿Por qué replantar posidonia en l’Ametlla de Mar?

La conservación de esta especie se ha realizado, mayoritariamente, a través de la conservación pasiva, es decir, de la protección de las praderas. Sin embargo, debido a la idiosincrasia de la especie y la acumulación de impactos antropogénicos descritos anteriormente, la conservación activa, restauración y replantación, también se considera necesaria según la literatura científica (Possingham et al., 2015). De hecho, en el Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo 2 del IPCC, la restauración de ecosistemas costeros mediante soluciones basadas en la naturaleza se destaca como una medida clave para la adaptación y mitigación del cambio climático en la cuenca del Mediterráneo (Ali, et al., 2022). Centrarse en una planta como la posidonia también

contribuye a utilizar una diversidad de soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación y adaptación a la crisis climática y no sólo centrarse en la plantación de árboles (Seddon et al., 2021). Además, algunos estudios proponen incorporar la restauración de ecosistemas como las praderas marinas en las “Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional”, NDCs por sus siglas en inglés (Christianson, et al., 2022). Así pues, esta replantación puede resultar importante en la consecución de los objetivos del Acuerdo de París al contribuir a limitar el aumento de temperatura. Aunque es cierto que lo que se propone es llevar plantas no-locales, al ser plantas nativas de una especie en peligro, que no florece cada año y de bajo crecimiento, Thomas. E. et al. (2014) lo tratan como una solución totalmente válida. Adicionalmente, estas acciones basadas en la naturaleza no deben ni pueden sustituir la necesaria descarbonización de la economía (Seddon et al., 2020).

En el caso de l’Ametlla de Mar, las tareas de protección son limitadas respecto a otras tareas que se realizan en la Costa Brava y las Islas Baleares, como el anclaje ecológico (Díaz Vendrell et al., 2016), y las acciones se limitan a la delimitación con boyas del anclaje de embarcaciones de recreo y otras acciones puntuales y no sostenidas en el tiempo (Solé, 2021). Así pues, la prueba piloto está justificada.

2. Metodología

La metodología se basa en un paradigma de innovación de "Quíntuple Hélice", o colaboración entre 5 tipos de partes interesadas: administración pública, universidades, empresas, sociedad civil y grupos de defensa del medio ambiente. Esta metodología también es compatible con la Decisión 9 de la COP 24 de la CMNUCC, relativa al

Informe del Comité de Adaptación, cuando en su párrafo 8 dice: "Alienta a las Partes a que apliquen un enfoque participativo a la planificación y ejecución de la adaptación, para aprovechar las aportaciones de las partes interesadas, incluidos el sector privado, la sociedad civil, los pueblos indígenas, las comunidades locales, los inmigrantes, los niños y los jóvenes, las personas con discapacidad y, en general, las personas en situaciones vulnerables" (FCCC/CP/2018/10/Add.1).

Además, también se utilizó una metodología de "investigación-acción", en la que se investiga y al mismo tiempo se lleva a cabo el proyecto de forma práctica para conocer los impedimentos reales de este tipo de proyectos de replantación. Así, tras meses de colaboración con el CIMAR de Santa Pola, el IEO de Murcia, el IMEDEA de Palma de Mallorca y la DG de Política Marítima y Pesca Sostenible de la Generalitat de Catalunya, el proyecto comenzó en mayo de 2021. Se aprovechó un temporal en Santa Pola para recoger 581 frutos de la costa, que se plantaron en 3 tanques de circuito cerrado iluminados



Imagen 1. De izquierda a derecha: 1) recolección de frutos en la playa de Santa Pola, Alicante, 2) disposición de los 3 tanques de plantado en l'Ametlla de Mar, Tarragona y 3) prospección submarina de las mejores zonas de plantado en l'Ametlla de Mar, Tarragona. Fuente: Elaboración propia.

con luces de acuario. Además, se realizaron inspecciones in situ para localizar la mejor zona de plantación con expertos locales.

Se realizaron diferentes experimentos en los tanques para determinar el mejor método de siembra en 3 variables: sustrato (fino, grueso y roca), nutrientes y cosecha. Los tanques medían 1,85 m x 1,05 m y se llenaron con sustrato, agua y 193, 194 y 194 semillas, respectivamente. Las semillas de los tanques se dividieron entre la cosecha que realizaron los miembros del CIMAR y la que realizaron los autores (que fue después de más de 24 h de que las semillas estuvieran fuera del mar). El primer tanque se llenó con sustrato fino y el segundo y tercero con sustrato grueso. En el segundo y tercer tanque había 5 semillas adheridas directamente a las rocas de cada tanque. En el segundo tanque se añadieron nutrientes.

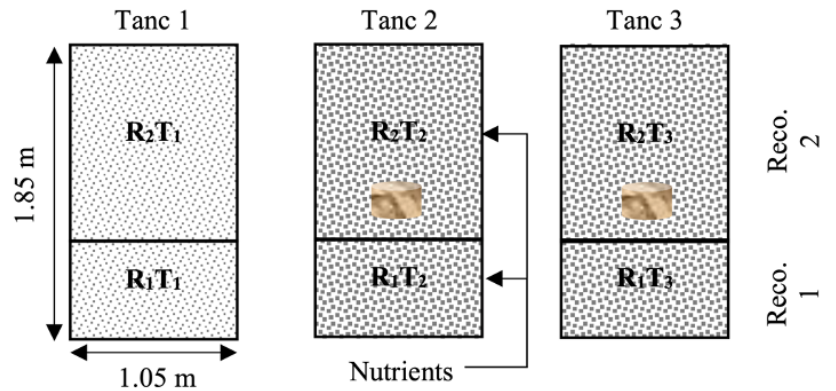


Figura 2. Diseño experimental.
Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

3.1 Resultados prueba piloto

La investigación ha permitido concluir que la normativa catalana no está adaptada para la restauración de praderas de posidonia a través de la replantación y que, si no se dispone de muchos recursos, la mejor manera es plantear un proyecto en una zona en la que ya se haya aprobado una concesión marítima con una entidad colaboradora. Por esta razón, no se ha podido llevar a cabo una replantación in situ en el mar. Finalmente, se han trasladado las plántulas al Aquarium de Barcelona.

De la prueba piloto se puede concluir que ha habido una gran mortalidad (supervivencia media del 20.1 % a los 12 meses), aunque se sitúa dentro de los límites normales en estudios similares. No obstante, se ha demostrado que no se requieren muchos conocimientos técnicos ni equipamientos muy especializados para ejecutar el día a día del proyecto. Se ha visto cómo el sustrato de roca es un buen candidato para mejorar la adherencia y facilitar el trasplante (100 % de supervivencia), así como la grava fina (23.8 % de supervivencia) que puede dar más peso a la planta en un contexto de mar abierto. Por otra parte, la aportación de nutrientes durante el primer año de vida ha ido en detrimento de la supervivencia de las plántulas (8.2 % de supervivencia) y se desaconseja su uso.

3.2 Análisis económico

Puesto que uno de los principales problemas para la implementación a gran escala de replantación de posidonia es la falta de fondos, este cálculo es adecuado para analizar la viabilidad del proyecto. Por

ejemplo, un proyecto de replantación puede tener un coste de 100.000 €/ha, contabilizado el valor de mercado de todas las actividades. Sin embargo, lo que le interesa a una potencial entidad promotora del proyecto es saber que, de estos 100.000 €/ha, la entidad sólo tendrá que aportar, por ejemplo, 10.000 € en efectivo. A la entidad, para valorar si tiene acceso a financiación bancaria, subvenciones, fondos disponibles, lo que le interesa es la parte a desembolsar directamente.

En la siguiente tabla se pueden ver los diferentes conceptos, precios, unidades y gastos totales generados durante el proyecto y que se han podido monetizar.

La prueba piloto de este proyecto no ha podido aprovechar estas economías de escala y, por tanto, el punto de comparación debería ser más cercano al límite superior mencionado por la citada guía de 22.16 €/plántula, y por tanto, los 7.82 €/plántula representaría un ahorro del 64.7 %.

En el ámbito económico, la metodología colaborativa entre diferentes agentes de interés ha resultado viable al poder generar ahorros en el desembolso necesario para llevar a cabo el proyecto, facilitando la replicación de estas acciones de replantación activa. Aunque depende de la colaboración de empresas y personas voluntarias, sí es cierto que la investigación científica requiere, en muchos casos, de financiación pública que es escasa y puede llegar a ser insuficiente.

Concepto	€/u	Unidades	€ Total
Luces acuario	50.99 €	6	305.94 €
Bomba de aire	30.00 €	1	30.00 €
Medidor salinidad y temperatura	32.99 €	1	32.99 €
Sacos grava	12.82 €	17	217.99 €
Sustrato lana de roca	0.53 €	50	26.60 €
Fertilizante	15.62 €	1	15.62 €
Ventosas	0.35 €	20	6.99 €
Válvulas retención	0.71 €	10	7.14 €
Difusores	1.10 €	10	11.02 €
Tubo silicona 6 mm (m)	0.22 €	50	11.09 €
Consumo electricidad (kWh)*	0.12 €	1512	179.47 €
Consumo de agua (m ³)*	6.37 €	2	12.74 €
Consumo combustible viaje (L)*	1.348	42.56	57.37 €
Total			914.97 €
Precio por plántula			7.82 €

Tabla 2. Detalle de los costes de la prueba piloto. Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

La conclusión principal es, pues, que la replantación de posidonia es un proyecto viable técnicamente y eficiente económicamente en Cataluña como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático siempre que se sigan las mejores prácticas mencionadas en el apartado anterior. En definitiva, la metodología aplicada ha servido

para reducir los gastos y facilitar la replicación del proyecto y lograr el objetivo de proponer mejoras en la guía de referencia del trabajo de REE IMEDEA. Por otra parte, se ha visto cómo el proyecto está estrechamente vinculado con los objetivos de mitigación y adaptación del cambio climático como una solución basada en la naturaleza y que existe un interés incipiente en España y Cataluña para promover proyectos de replantación a gran escala, donde tenga sentido realizarlos. Las limitaciones del trabajo han sido la falta de referencias de replantación en Cataluña y no haber podido ejecutar el trasplante final de las posidonias en el mar.

Para poder mejorar las lecciones aprendidas de este trabajo se necesitan más estudios prácticos de replantación en todas sus fases. Asimismo, también es necesaria una modificación de la normativa para facilitar estas actuaciones siempre que se lleven a cabo según el código de conducta que se establezca. Sin embargo, falta más monitorización de las praderas y la incorporación de los objetivos de restauración de las fanerógamas marinas en los planes, estrategias y programas de actuación en materia de adaptación al cambio climático y de biodiversidad.

Referencias

- Alagna, A. et al. (2019). Taking advantage of seagrass recovery potential to develop novel and effective meadow rehabilitation methods. *Marine Pollution Bulletin*, 149(110578). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110578>
- Ali, E. et al. (2022). Cross-Chapter Paper 4: Mediterranean Region. A: H. Pörtner, et al. ed. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Ardizzone, G., Belluscio, A., & Maiorano, L. (2006). Long-term change in the structure of a *Posidonia oceanica* landscape and its reference for a monitoring plan. *Marine Ecology*, 27(4), 299-309. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2006.00128.x>
- Arnaud-Haond, S. et al. (2012). Implications of Extreme Life Span in Clonal Organisms. *PLoS ONE*, 7(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030454>
- Balata, G., & Tola, A. (2018). Cost-opportunity analysis of the use of *Posidonia oceanica* as a source of bio-energy in tourism-oriented territories. The case of Alghero. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4085-4098. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.072>
- Beltran, R. et al. (2020). Spatio-temporal variation in macrofauna community structure in Mediterranean seagrass wrack. *Food Webs*, 25(e00178). <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2020.e00178>
- Björk, M., Short, F., McLeod, E., & Beer, S. (2008). *Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change*. Gland: IUCN.
- Bonfill i Molina, E., & Requena, A. (2021). *Interview with founders of "Plàncton Divulgació i Serveis Marins"* [Interview].
- Boudouresque, C. F., & Meinesz, A. (2012). Can dead meadows be restored?. A: C. F. Boudouresque, et al. ed. *Protection and conservation of Posidonia oceanica meadows*. 1 ed. Marseille: Ramoge.
- Burgos, E. et al. (2017). Ecosystem functions and economic wealth: Trajectories of change in seagrass meadows. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1108-1119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.046>
- Campagne, C. S., Salles, J. M., Boissery, P., & Deter, J. (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*, 97, 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.061>
- Carreño, A., & Lloret, J. (2021). Environmental impacts of increasing leisure boating activity in Mediterranean coastal waters. *Ocean and Coastal Management*, 209(105693). <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105693>
- Christianson, A. B. et al. (2022). The Promise of Blue Carbon Climate Solutions: Where the Science Supports Ocean-Climate Policy. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.851448>
- Costanza, R. et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(253-260). <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- De Groot, R. (2013). Benefits of Investing in Ecosystem Restoration. *Conservation Biology*, 27(6), 1286-1293. <https://doi.org/10.1111/cobi.12158>
- Díaz Almela, E., & Marbà, N. (2009). *1120 Posidonion oceanicae. Praderas de Posidonia oceánica. A: Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 129.

- Díaz Vendrell, A. et al. (2016). *Dossier Tècnic. Núm. 84 "Fanerògames Marines"* s.l.: Direcció General d'Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries.
- Duarte, C. M. (1991). Seagrass Depth Limits. *Aquatic Botany*, 40(4), 363-377. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(91\)90081-F](https://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90081-F)
- Grup de Treball d'Hàbitats d'Interès Pesquer, 2016. *Protocol de bones pràctiques en el fondeig i l'ancoratge al litoral català*, s.l.: s.n.
- Halpern, B. S. et al. (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 6(7615). <https://doi.org/10.1038/ncomms8615>
- Marcelli, M. et al. (2018). A benthic zonation system as a fundamental tool for natural capital assessment in a marine environment: A case study in the Northern Tyrrhenian Sea, Italy. *Sustainability*, 10(3786). <https://doi.org/10.3390/su10103786>
- Oprandi, A. et al. (2020). Effects of a severe storm on seagrass meadows. *Science of the Total Environment*, 748(141373). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141373>
- Paul, M. (2018). The protection of sandy shores – Can we afford to ignore the contribution of seagrass?. *Marine Pollution Bulletin*, 134. 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.012>
- Pelejero, C., Ros, J., & Simó, R. (2016). Ecosistemes marins i costaners. A: J. Martín-Vide, ed. *Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Possingham, H. P., Bode, M., & Klein, C. J. (2015). Optimal Conservation Outcomes Require Both Restoration and Protection. *PLOS Biology*, 13(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002052>
- Real Herráiz, T., Real Herráiz, J., Montalbán Domingo, L., & Carrión Domingo, F. (2016). Posidonia oceanica used as a new natural fibre to enhance the performance of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 102(1), 601-612. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.193>
- Scanu, S. et al. (2022). Economic Evaluation of Posidonia oceanica Ecosystem Services along the Italian Coast. *Sustainability*, 14(489). <https://doi.org/10.3390/su14010489>
- Seddon, N. et al. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions Royal Society of Biology Sciences*, 375(1794). <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Seddon, N. et al. (2021). Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Global Change Biology*, 27(8), 1518-1546. <https://doi.org/10.1111/gcb.15513>
- Solé, X. (2021). *Interview with mayor's office environmental technician of l'Ametlla de Mar* [Interview] 2021.
- Terrados Muñoz, J., Castejón Silvo, I., & Álvarez Enríquez, B. (2018). *Guía Práctica: El plantado de Posidonia Oceánica*. Alcobendas: REE.

- Thomas, E. et al. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Trumper, K. et al. (2009). *Le remède naturel? Le rôle des écosystèmes dans l'atténuation des changements climatiques. Une évaluation rapide du PNUE*. Cambridge: UNEP-WCMC.
- Vassallo, P. et al. (2013). The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: A natural capital assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 75(1-2), 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.044>
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B. & Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *PNAS*, 106(30), 12377-12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>

En aquest llibre trobareu part de la recerca del departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny de la Universitat Politècnica de Catalunya. Un resum de la reunió anual de la xarxa internacional CECIAC. Podreu llegir com s'avaluen les estratègies de desenvolupament a llarg termini en baixes emissions. També una investigació bibliomètrica sobre els Treballs Final d'Estudi de la secció EEBE. Una aportació sobre l'aprenentatge actiu amb PBL de l'assignatura "Expressió Gràfica". La segregació de l'estudiantat en els graus d'enginyeria. Una prospecció i recreació de la inundació estacional a una zona del Nil. La intel·ligència artificial hi és present amb un model per detectar de manera automàtica els incendis forestals. S'estudia una revalorització dels fangs de la indústria paperera. I una solució per la camperització a partir de residus. Àdhuc podeu llegir una metodologia analítica aplicada als vitralls modernistes. La relació amb la natura en el disseny d'un packaging per a e-commerce. I els fonaments dels Dispositius Microfluídics Digitals. Trobareu una eina tecnològica que permet la predicció de punts calents de plàstic, eines per integrar els objectius de Desenvolupament Sostenible (DS) a les enginyeries, i el raonament del dret al DS en la repartició equitativa d'emissions. Finalment, destacar la crònica de la incorporació d'aspectes sobre la persona en el projecte de disseny en l'enginyeria, i un estudi d'una estratègia de mitigació i adaptació al canvi climàtic a partir de la posidònia oceànica.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Departament d'Enginyeria Gràfica
i de Disseny

 OmniaScience

Monographs

ISBN 978-84-126475-1-8



9 788412 647518 >