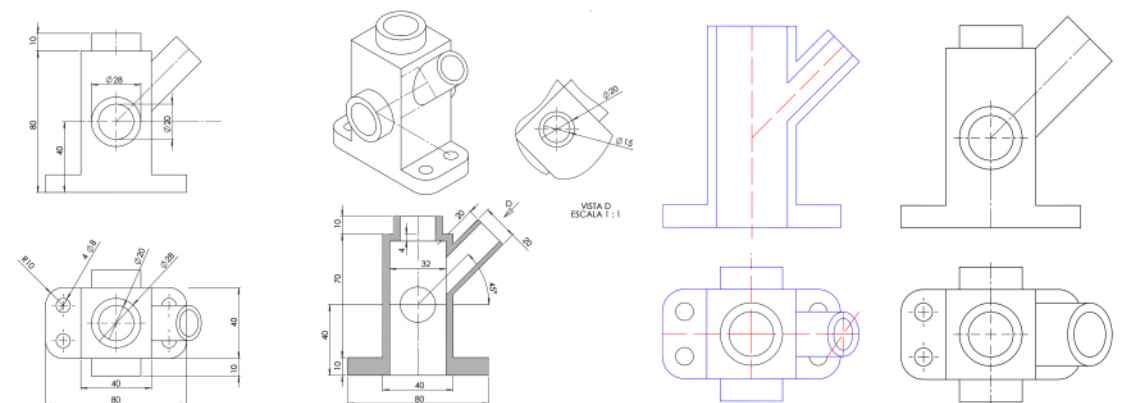
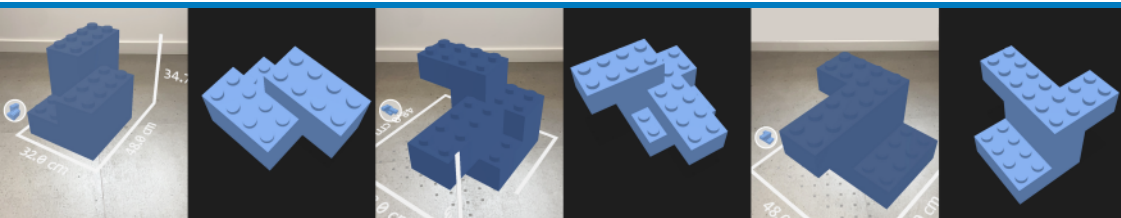




# Research advances

## in Graphic and Design Engineering

### at the **UPC BarcelonaTech**



Editors: Oscar Farrerons Vidal, Noelia Olmedo Torre,  
Blanca Roncero Vivero, Arantza Villa Sicilia



Research advances in Graphic and Design  
Engineering at the UPC BarcelonaTech

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny - UPC

Barcelona, febrer de 2024

## **Research advances in Graphic and Design Engineering at the UPC BarcelonaTech**

Coordinador: Oscar Farrerons Vidal

Editors: Oscar Farrerons Vidal, Noelia Olmedo Torre, Blanca Roncero Vivero,  
Arantza Villa Sicilia



1ra edició © 2024 OmniaScience (Omnia Publisher SL)

[www.omniascience.com](http://www.omniascience.com)



DOI: <https://doi.org/10.3926/ege2024>

ISBN: 978-84-126475-7-0

Disseny de coberta: OmniaScience

Fotos de coberta: © 2023 Mariolly Dávila, Andrea Parga i Oscar Farrerons

## Índex

Pròleg .....	7
Explorant el potencial de la IA generativa en l'educació: Un xatbot per a l'aprenentatge d'Expressió Gràfica .....	11
Análisis del impacto ambiental de la logística de última milla en el comercio electrónico para la ciudad de Terrassa .....	26
Rediseño de una máquina Smith para aportar mejoras en el entrenamiento.....	42
Implementación de un cuatrimestre cero para la asignatura de Expresión Gráfica en la EEBE y en la FNB de la UPC .....	55
Breve estado del arte de la celulosa bacteriana y sus aplicaciones ..	77
Un enfoque innovador basado en inteligencia artificial para la detección automática de incendios forestales .....	89
Canal YouTube: Projectes Expressió Gràfica (SolidWorks) .....	98
Autoconsumo y eficiencia: Visión futura.....	111
Trastornos de la conducta alimentaria, aportación creativa y diseño .....	126

Marco para la comunicación de riesgos y crisis: Caso Sudamérica.	141
Viabilitats de fabricació additiva amb cel·lulosa: Breu estat de l'art en Impressió 3D i estratègies futures .....	156
Disseny d'un sistema de transmissió interna per a bicicletes, amb millores quantificables als Objectius de Desenvolupament Sostenible.....	174
Anàlisi dels resultats acadèmics a l'assignatura d'Expressió Gràfica en relació amb els perfils d'admissió .....	185
Sensorització del peu diabètic.....	199
El empleo de Washi en instituciones de salvaguarda de patrimonio sobre papel en Europa .....	213
Design and simulation of a mechanical female left arm low-elbow prothesis for CrossFit training.....	227
Recuperació i revalorització de la cel·lulosa procedent dels residus tèxtils post-consum.....	247

## Pròleg

El Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) organitza anualment una Jornada de Recerca oberta a tot el PDI del departament, però també a tots aquells altres investigadors i professors que col·laboren amb ells, siguin de la UPC o d'altres universitats. Avui en dia el coneixement és dispers en diferents departaments i universitats, i el DEGD és una mostra d'aquesta dispersió i col·laboració entre investigadors, independentment de la seva ubicació. La finalitat de la Jornada de Recerca i del present llibre que teniu a les mans, i que deixa negre sobre blanc moltes de les presentacions que s'han vist a la Jornada, és posar en valor les investigacions que el professorat del DEGD porta a terme, a la vegada que mostrar part del treball a la comunitat acadèmica per buscar noves col·laboracions en el futur pròxim.

En aquest llibre trobarem un capítol que explora el potencial de la Intel·ligència Artificial (IA) generativa en l'educació en general, i que proposa una experiència docent real: un xatbot per a l'aprenentatge de l'Expressió Gràfica (EG). La IA també és protagonista de l'original que mostra un enfocament innovador per a la detecció automàtica d'incendis forestals. Un altre capítol analitza l'impacte ambiental de la logística de la darrera milla, problema que s'ha incrementat molt en els darrers temps a causa de l'explosió del comerç electrònic, i que té un fort impacte en les nostres ciutats. També trobareu temes molt relacionats amb el disseny mecànic industrial, com ara les

problemàtiques en el disseny d'una màquina Smith o un sistema de transmissió automàtica per a bicicletes elèctriques, problemàtiques que s'aborden amb la finalitat que els dissenys ens apropin als Objectius de Desenvolupament Sostenible de l'ONU.

En les col·laboracions entre els diferents departaments de la UPC podreu llegir un capítol del llibre que exposa la implementació d'un quadrimestre zero per la millora de l'aprenentatge en l'assignatura d'Expressió Gràfica en dos campus diferents de la UPC: a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) i a la Facultat de Nàutica de Barcelona (FNB). En aquest mateix sentit d'estudiar i millorar la docència d'Expressió Gràfica també podreu trobar un text que analitza els resultats acadèmics a l'assignatura EG en relació amb els perfils d'admissió a l'Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT). I continuant amb aquesta temàtica, l'exposició d'un canal de YouTube amb quasi una quinzena d'anys, milers de visualitzacions i més de dos-cents vídeos de projectes d'Enginyeria Gràfica desenvolupats per alumnes de l'EEBE.

El grup CELBIOTECH també escriu alguns dels capítols del llibre, amb reflexions sobre l'ús del washi en institucions de salvaguarda de patrimoni sobre el paper a Europa o sobre l'estat de l'art de la cel·lulosa bacteriana i les seves aplicacions. Es pot llegir un interessant estudi sobre la recuperació i revalorització de la cel·lulosa procedent dels residus tèxtils postconsum així com conèixer breument l'estat de l'art en impressió 3D i estratègies futures de fabricació additiva amb cel·lulosa.

Des de l'ESEIAAT es presenten capítols sobre el desenvolupament d'un sistema electrònic integrat al teixit per a la detecció precoç de possibles lesions al peu causades per l'evolució de la diabetis, amb una sensorització del peu diabètic. A més a més, també des de l'ESEIAAT, s'ofereix una aportació creativa sobre els trastorns de la conducta alimentària



Finalment, destaquem els capítols dedicats a l'autoconsum i l'eficiència energètica en el context del canvi climàtic i dels models de consum sostenible; així mateix, s'inclou l'estudi d'un marc per a la comunicació de riscos i crisis a Sud-amèrica. Per últim, es mostra la proposta d'un disseny mecànic per a una pròtesi construïda amb un material compost de matriu polimèrica amb reforç de fibra de carboni laminat preimpregnat.

Com hem destacat en aquest breu resum del contingut del llibre, el DEGD ha desenvolupat en els darrers anys diverses i variades línies de treball i recerca, per aconseguir no sols la millora de la docència que porta a terme, sinó també la creació de nou coneixement, per així aportar a la societat, una mica del que rep d'ella, que amb els impostos subvenciona en part l'activitat acadèmica i de recerca universitària.

Febrer 2024

Oscar Farrerons Vidal  
*Coordinador VI Jornada de Recerca d'Enginyeria Gràfica i de Disseny*

Noelia Olmedo Torre  
*Directora Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny*

Blanca Roncero Vivero  
*Sotsdirectora Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny*

Arantza Villa Sicilia  
*Secretària Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny*



---

# Explorant el potencial de la IA generativa en l'educació: Un xatbot per a l'aprenentatge d'Expressió Gràfica

---

**Martí Beltran, Ismail El-Madafri, Oscar Farrerons, Noelia Olmedo**  
EEBE. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD)

**Marta Peña**  
ETSEIB. Departament de Matemàtiques (DMAT)

## Resum

La irrupció de la intel·ligència artificial (IA) generativa ha obert un nou escenari en el qual s'ha de replantejar el model educatiu actual. Aquests models d'IA utilitzen algorismes d'aprenentatge automàtic per generar dades noves a partir d'un conjunt d'exemples d'entrenament. Una de les aplicacions que poden fer ús d'aquestes IA generatives són els bots conversacionals o xatbots. Aquests programes informàtics simulen una conversa a través de missatges de text. Per tal de respondre les peticions introduïdes fan servir intel·ligència artificial, que seguint arquitectures de dades complexes són capaces de simular entendre les preguntes i generar respostes coherents. Aquest tipus d'eines s'han popularitzat recentment a partir d'aplicacions com ChatGPT i tenen el potencial d'ajudar als alumnes com a assistents d'aprenentatge. L'assignatura de primer curs, Expressió Gràfica, s'imparteix pel professorat del departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny i segons la guia docent, la competència transversal que es treballa a l'assignatura és l'autoaprenentatge. L'objectiu principal de la comunicació és presentar el projecte d'innovació educativa desenvolupat dins de la convocatòria de Galàxia Aprenentatge 2023. Aquest projecte pretén reforçar l'autoaprenentatge de la teoria de l'assignatura amb un bot conversacional, que ajudarà als alumnes durant el seu estudi. Com a objectiu secundari es mostraran els detalls de l'experiment dissenyat per tal d'avaluar la satisfacció de l'alumnat en l'assignatura.

## Abstract

The emergence of generative artificial intelligence (AI) has opened up a new scenario where the current educational model needs to be reconsidered. These AI models use machine learning algorithms to generate new data from a set of training examples. One of the applications that can make use of these generative AI's is conversational bots or chatbots. These software programs simulate a conversation through text messages. To respond to the queries introduced, they use artificial intelligence, which, following complex architectures, are capable of simulating an understanding of the questions and generating coherent responses. This kind of tools have recently become popular with applications like ChatGPT and have the potential to help students as learning assistants. Expressió Gràfica is a first year subject taught by the faculty of the Department of Graphic Engineering and Design, and according to the course guide, the cross-curricular competence worked on in the course is self-learning. The primary objective of the communication is to present the educational innovation project developed within the Galàxia Aprenentatge 2023 call. This project aims to reinforce the self-learning of the course's theory with a conversational bot that will assist students during their study. As a secondary objective, the details of the designed experiment will be showcased to evaluate the students satisfaction with the course.

---

## 1. Introducció

Els assistents virtuals o xatbots són programes informàtics que es troben en determinades pàgines web, sobretot negocis en línia o serveis públics, que tenen la funció de simular una conversa a través de missatges de text. El camp de l'educació també ha fet servir aquestes eines, tot i que l'impacte ha estat menor que en altres àrees (Okonkwo & Ade-Ibijola, 2020, Smutny & Schreiberova, 2020). Fins fa poc més d'un any, aquests xatbots simplement reproduïen una informació enregistrada prèviament amb forma de preguntes i respostes i és caracteritzaven per una capacitat limitada de comprensió. Tot això ha canviat radicalment en un lapse molt petit de temps, la irrupció de la intel·ligència artificial (IA) i dels models generatius de llenguatge ha obert un nou escenari en el qual aquests assistents virtuals aparentment tenen la capacitat d'entendre les preguntes i per tant de donar respostes que s'ajusten exactament a allò que es demana en cada cas. Aquests models generatius de llenguatge, com per exemple els GPT (Generative Pre-trained

Transformer), són un tipus de model d'intel·ligència artificial dissenyat per generar text de manera automàtica. Per tal d'aconseguir això aquests models s'entrenen amb una gran quantitat de dades en forma de text, que donen la pauta a l'algorisme per tal de repetir les estructures i patrons del llenguatge humà. Un cop entrenats, aquests models poden produir textos nous que són indistingibles dels escrits per una persona. L'ús d'aquests models s'ha estès molt ràpidament amb diverses aplicacions com són la generació automàtica de text, la traducció automàtica o l'assistència virtual (Shanahan, McDonell & Reynolds, 2023).

### **1.1. Aspectes històrics**

Tot i el recent esclat del camp de recerca, l'estudi del models de llenguatge no són una novetat i es remunten a moltes dècades enrere. L'any 1950, Alan Turing va escriure un article que és considera fundacional dins del camp de la IA, a on es pregunta de forma literal si les màquines tenen la capacitat de pensar i dissenya tot un corpus teòric per tal de demostrar-ho (Turing, 1950). Des d'aquest punt de partida, són moltes les aportacions sense les quals no s'hauria pogut arribar fins a l'actual estat de l'art, des de Noam Chomsky, pare de la gramàtica generativa que donarà els fonaments dels llenguatges de programació, o John McCarthy amb el llenguatge de programació LISP i els primers intents de programes conversacionals com ELIZA (Toosi, Bottino, Saboury, Siegel & Rahmim, 2021). No obstant això, va ser fonamental la introducció de l'estadística i la lògica dins del camp del processament del llenguatge natural (PLN) per tal de realment començar a preparar models capaços de generar text coherent. Molt recentment, la introducció de models basats en xarxes neuronals ha propiciat arribar al moment actual, on es pot arribar a mantenir una conversa raonada amb aquests models de llenguatge.

De fet, cal mencionar com la irrupció l'any 2017 d'una nova arquitectura de xarxa neuronal anomenada transformadors (*Transformer*), va

suposar una revolució en quant al processament del llenguatge i les seves aplicacions en models generatius de llenguatge. El punt de partida va ser l'article *Attention Is All You Need*, que va introduir aquesta nova arquitectura de dades amb l'ús dels anomenats mecanismes d'atenció, que permeten a la xarxa centrar-se en determinades parts de la informació donada com a entrada (Vaswani, Shazeer, Parmar, Uszkoreit, Jones, Gomez, 2017). Aquest mètode ha demostrat ser molt més eficient en treballs de processament de llenguatge natural (PLN), de fet els models més populars de l'actualitat com poden ser BERT o el mateix GPT, es basen en aquesta tècnica (Qiu, Sun, Xu, Shao, Dai & Huang, 2021). Una de les característiques que tenen aquests models basats en transformadors és que sovint es troben pre-entrenats amb grans conjunts de dades i per tant, si es necessita preparar-los per una tasca específica només cal entrenar-los amb les dades específiques (Yenduri, Ramalingam, Chemmalar, Supriya, Srivastava, Kumar et al., 2023).

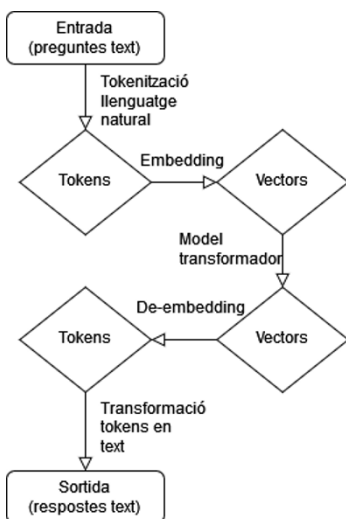


Figura 1. Diagrama amb funcionament de ChatGPT.

El llançament de l'aplicació ChatGPT a finals de l'any 2022 ha estat una veritable revolució en quant a l'ús per les masses de la IA (Bahrani, Khamoshifar, Abbasimehr, Riggs, Esmaeili, Majdabadkohne et al., 2023). Aquesta aplicació és un model de llenguatge, ja en la seva quarta versió, desenvolupat per la companyia OpenAI i basat en la tecnologia de xarxes neuronals de tipus transformador. El sistema presenta una interfície de text, a on els usuaris escriuen preguntes i el model respon amb text generat automàticament. Per tal de generar nou text, ChatGPT utilitza el que s'anomena tokenització del llenguatge natural. El text entrat per l'usuari és divideix en unitats més petites anomenades tokens, que poden ser paraules o parts de paraules. Cada token de la frase s'associa amb un identificador numèric únic, que un cop assignats en conjunt són convertits en vectors mitjançant un procés anomenat embedding. Aquest vectors són utilitzats pel model per a processar el text seguint la xarxa neuronal de tipus transformador i utilitzant els mecanismes d'atenció que afavoreixen un menor cost de càlcul donant més importància als tokens més rellevants. En el moment de generar nou text, el model comença a generar nous tokens basant-se en aquells que estadísticament són més probables que vagin després dels que s'han introduït prèviament. Finalment el model torna a traduir els tokens en paraules que són comprensibles pels usuaris (Vaswani et al., 2017).

### ***1.2. L'ús d'assistents virtuals o xatbots en el camp de l'educació***

Tota aquesta capacitat generativa de llenguatge no ha passat desapercebuda a la comunitat educativa i especialment des de l'aparició de ChatGPT. En molt poc temps s'ha passat de tenir uns rudimentaris assistents virtuals que amb prou feines seguien uns passos establerts a estar davant d'uns assistents que perfectament poden realitzar coaching o amb els quals gairebé es poden mantenir converses de certa profunditat. En tot cas, cal recordar que des de fa anys es cita el camp de l'educació com una de les àrees a on la IA es pot aplicar amb èxit, especialment mitjançant l'ús de xatbots (Okonkwo et al., 2021; Zhang & Aslan, 2021). La bibliografia sobre

els xatbots és abundant des de començaments del segle XXI, tot i que poques vegades el tema a tractar és el seu ús dins de les aules. Els temes més abundants són la ciència de computació i l'aplicació de la IA a la mateixa. Degut a això, l'any 2021, entre els 100 articles més citats dedicats als xatbots, només 5 estaven dedicats a la recerca educacional i en concret a l'aprenentatge de les llengües (Wang, Hwang & Chang, 2021). Actualment aquesta situació s'està revertint i molts grups de recerca d'arreu del món estan duent a terme projectes de recerca amb els xatbots com a eina principal per tal d'afavorir l'aprenentatge en l'educació superior. Per tot això, tot i que continua havent poca bibliografia específica sobre l'ús dels assistents virtuals a les aules és d'esperar que els propers anys apareguin noves publicacions sobre el tema.

Els xatbots han estat utilitzats els darrers anys a les aules universitàries per a l'aprenentatge actiu de les llengües. Aquests assistents virtuals permeten als estudiants practicar l'idioma de manera interactiva i personalitzada, donant la possibilitat de cometre errors i aprendre dels mateixos. També poden adaptar-se al nivell de coneixement i les necessitats específiques de cada estudiant, proporcionant exercicis i converses en el nivell adequat. Les poques dades empíriques publicades sobre l'ús de xatbots en educació superior analitzen l'impacte en l'interès dels alumnes que utilitzen aquestes eines. L'anàlisi estadística realitzada sobre l'augment de l'interès en els alumnes de llengües en cursos universitaris mostren com aquest efecte positiu pot ser degut únicament a la novetat i en tot cas, l'investigador demana prudència en el seu ús (Fryer, Ainley & Dutta, 2017). Cal remarcar com aquestes experiències van estar realitzades amb assistents virtuals sense la capacitat de generació de llenguatge dels actuals models, motiu pel qual és absolutament necessari realitzar més experiències per mesurar aspectes com aquest interès.

La capacitat de generar text coherent ha augmentat de forma exponencial aquest darrer any 2023, i sobretot gràcies a aplicacions



com ChatGPT s'ha posat a l'abast de tothom. S'ha remarcat recentment com aquests models donen l'oportunitat de personalitzar l'educació universitària, donant assistència en la recerca i feines d'escriptura, així com en el desenvolupament del pensament crític i les habilitats per resoldre problemes. Aquestes eines poden ajudar als alumnes en el seu autoaprenentatge generant resums i remarcant els aspectes més importants dels textos a estudiar, així com a ordenar les idees per tal de d'elaborar treballs escrits (Kasneci, Sessler, Küchemann, Bannert, Dementieva, Fischer et al., 2023). La capacitat d'aquests models ha estat posada a prova en diferents camps, especialment en el de la informàtica i les ciències de la computació. Recentment investigadors han experimentat amb els models de llenguatge d'OpenAI per resoldre exàmens dels graus de Matemàtiques i Enginyeria Elèctrica i Ciència de la Computació del MIT. Després d'un entrenament amb preguntes i respostes sobre la matèria, els resultats van mostrar com GPT3.5 resolvia una tercera part de les preguntes mentre que GPT4 obtenia uns resultats perfectes (Zhang, Florin, Lee, Niknafs, Marginean, Wang et al., 2023). Aquesta experiència mostra com aquestes eines poden ser utilitzades amb força seguretat en un entorn acadèmic. Tot i les evidents bondats que suposa l'ús d'aquestes noves tecnologies en entorns universitaris, s'han aixecat moltes veus prevenint sobre l'abús de les mateixes i els aspectes negatius que poden comportar. Per tal de prevenir això la UNESCO ha publicat recentment un manual de bon ús de les eines basades en la IA en l'educació superior i especialment de l'aplicació ChatGPT (UNESCO, 2023). Aquesta guia enumera els reptes e implicacions ètiques que suposa l'ús d'aquestes eines, entre els quals destaquen la integritat acadèmica i la possibilitat de plagis, que ha preocupat especialment a la comunitat educativa. També ha editat una guia de bons usos de les IA, recomanant als països tota una sèrie de recomanacions per tal de millorar l'ús d'aquestes eines (UNESCO, 2022).

### **1.3. L'assignatura d'Expressió Gràfica**

Expressió Gràfica és una assignatura de primer curs dels graus d'Enginyeria Biomèdica, de Materials, Elèctrica, Electrònica Industrial i Automàtica, Mecànica i Química, que s'imparteix pel professorat del departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny amb el Prof. Oscar Farrerons com a coordinador. Segons la guia docent, la competència transversal que es treballa a l'assignatura és l'autoaprenentatge (VVAA, 2022). El temps de dedicació de l'assignatura consta d'un 20 % del temps de classe que segueix la metodologia expositiva i un 40 % repartit entre treball en grups i aprenentatge en projectes. El 40 % restant del temps es destina a l'aprenentatge individual mitjançant una sèrie de continguts accessibles des de casa. La competència es valora amb la nota del projecte en un 65 % i de la teoria en un 35 %. Amb aquest projecte es pretén reforçar el model de "flipped classroom" o classe invertida amb la introducció d'un bot conversacional que ajudi a la classe a preparar la teoria de l'assignatura.

## **2. Objectius**

L'objectiu principal d'aquesta comunicació és presentar el projecte d'innovació educativa desenvolupat dins de la convocatòria de Galàxia Aprenentatge 2023 pels professors del departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny. El projecte explora les possibilitats que ofereix la introducció de la IA generativa en l'educació i reforça l'autoaprenentatge de l'assignatura d'Expressió Gràfica amb l'ajuda d'un bot conversacional o xatbot. Per aconseguir això, es proposa una metodologia docent innovadora, basada en un model de classe invertida, en el qual els continguts teòrics de l'assignatura estan sempre disponibles i són reforçats amb l'ajuda d'un xatbot. Com a objectiu secundari es mostraran els detalls de l'experiment dissenyat per tal d'avaluar la satisfacció de l'alumnat en l'assignatura.

### 3. Metodologia

Per avaluar la innovació educativa dins de l'assignatura d'Expressió Gràfica es farà servir un disseny d'experiment ex post facto, habitual als experiments en ciències socials, a on no es modifiquen variables durant l'experiència, sinó que simplement s'utilitza una eina nova i es valora el resultat abans i després en comparació amb un grup de control (Tuckman, 1972). Les preguntes de recerca emprades per tal de dissenyar l'experiment són les següents:

1. L'ús del xatbot millora la satisfacció acadèmica després de cursar l'assignatura d'Expressió Gràfica?
2. L'ús del xatbot fa augmentar l'interès i les creences competencials (confiança en l'autoaprenentatge o autoeficàcia) en l'assignatura d'Expressió Gràfica?

Com a indicadors d'èxit de la innovació no s'agafaran les notes finals o parcials de l'avaluació, ja que el percentatge d'aprovat és molt alt i a més els diferents grups tenen composicions diferents segons la carrera a la qual pertanyen els alumnes matriculats. Per tant els indicadors d'èxit seran la satisfacció dels estudiants respecte l'assignatura, l'interès en l'assignatura i la valoració respecte a la seva capacitat d'aprendre i resoldre problemes per un mateix.

L'experiment es desenvoluparà durant el primer i el segon quadrimestre. Al primer quadrimestre hi ha un total de 732 alumnes (N) matriculats a l'assignatura d'Expressió Gràfica dividits en 24 grups i per desenvolupar el pilot s'agafarà un grup de mostra de 31 alumnes (na) i un grup de control de 32 alumnes (nb). Per tal d'avaluar l'impacte de la innovació introduïda es realitzarà un pretest (T1) i un post test (T2) durant el qual s'hauran de contestar un total d'onze preguntes a on s'inclouran dades personals, dades acadèmiques, dades relacionades amb les característiques d'estudi de cada alumne i finalment preguntes relatives a la satisfacció acadèmica, interès i autoeficàcia en l'aprenentatge de l'assignatura. Per tal de mesurar els indicadors triats s'utilitzarà una escala de likert de 4 punts, a on 1 és

molt en desacord, 2 en desacord, 3 d'acord i 4 molt d'acord. Aquesta és una escala forçada, a on s'obliga a l'alumne a posicionar-se amb un aspecte en concret (Croasmun & Ostrom, 2011). Per a l'anàlisi estadística s'analitzaran els valors dels indicadors obtinguts abans i després de l'experiment així com la seva fiabilitat, i es posaran en relació amb els valors obtinguts pels grups de control per tal d'observar l'efecte de la innovació educativa en els alumnes.

#### **4. Disseny de l'experiment**

L'experiment avalua la satisfacció acadèmica, l'interès i l'autoeficàcia dels alumnes abans i després de cursar l'assignatura d'Expressió Gràfica amb la introducció del xatbot com a innovació educativa. Cal recordar com l'autoaprenentatge és la competència transversal treballada a l'assignatura i per tant està relacionat amb les creences competencials que tenen els alumnes sobre ells mateixos, que inclou aspectes com l'interès i l'autoeficàcia (Eccles & Wigfield, 2002) per finalment influir en la satisfacció acadèmica. En quant als indicadors triats, l'interès dels alumnes pot ser diferenciat entre individual i situacional, a on individual és una orientació personal relativament estable respecte a certs camps i situacional és un estat emocional desencadenat per determinades tasques o activitats (Schiefele, 1999). D'altra banda, l'autoeficàcia dels alumnes és la confiança que tenen en la seva capacitat d'organitzar i executar una acció com solucionar un problema o fer una tasca donada (Bandura, 1997).

El test serà el mateix tant al pre test (T1) com al post test (T2), a on les primeres tres preguntes seran relatives a dades personals (el sexe per a la P1) i a dades acadèmiques (grau al qual estan matriculats els alumnes per a la P2 i grups al qual es troben matriculats per a la P3). La quarta pregunta conté 8 ítems basats en el test *SELF-A* (Zimmerman, Kitsantas & Campillo, 2005) que responen a la necessitat de conèixer les característiques de l'estudiant respecte a l'autoaprenentatge, la competència transversal de l'assignatura, que seran avaluades amb una escala de Likert de 4 punts, que evita la indecisió

en la resposta. La pregunta cinc té com a propòsit conèixer l'estil d'aprenentatge dels alumnes segons Kolb, que divideix entre aprenentatge pragmàtic (convergent) per als que prefereixen resoldre problemes de manera pràctica, aprenentatge actiu (adaptadors), per als que aprenen quan experimenten directament, aprenentatge reflexiu (divergent) per als que reflexionen sobre la informació abans d'experimentar o treure conclusions i aprenentatge teòric (conceptualitzadors) per als que donen més importància a la teoria que a la pràctica a l'hora d'aprendre (Smith, 2010). Per tal d'analitzar el temps d'estudi i la diversitat d'activitats que fan a casa així com les dificultats que poden tenir a l'hora de treballar l'assignatura a casa es fan servir les preguntes sis, set, vuit i nou. Aquestes nou preguntes componen el primer bloc de preguntes del test a on es pretén extreure informació sobre l'alumne, la seva forma d'estudiar i les dificultats o carència que pot tenir en el seu autoaprenentatge, que seran útils per analitzar les respostes dels alumnes en quant als indicadors de l'experiment.

A la segona part del test s'avaluen els indicadors d'interès, satisfacció acadèmica i autoaprenentatge respecte a l'assignatura. Per tal d'avaluar correctament i que no hi hagin biaixos deguts a la inèrcia de respondre afirmativament o negativament, les preguntes es fan de forma que n'hi hagin de positives i negatives (Ramsden, 1991). Per tal de forçar el posicionament dels alumnes es fa servir una escala de Likert de 4 punts, a la qual no es poden utilitzar respostes neutres. La pregunta deu és divideix en vuit ítems o preguntes basades en la bibliografia, a on els quatre primers responen a l'indicador interès en l'assignatura (Fryer, Ainley & Thompson, 2016; Ichihara & Arai, 2004) i les quatre darreres la satisfacció acadèmica (Ramsden, 1991). La pregunta onze conté quatre ítems o preguntes basades en la bibliografia a on s'avalua l'indicador d'autoaprenentatge o autoeficàcia per a l'assignatura d'Expressió Gràfica (Midgley, Maehr, Hrudá. Anderman, Freeman & Urdan, 2000).

	Pregunta	Indicador	Pregunta de recerca
P10	Crec que Expressió Gràfica (EG) és molt interessant. M'agrada aprendre noves lliçons d'EG. EG té una significació especial per a mi. No trobo el sentit de l'assignatura d'EG dins dels estudis que estic cursant.	Interès (Fryer, 2016; Ichihara & Arai, 2004)	2
P10	Estic molt satisfet amb aquest curs. En tot moment tinc l'ajuda necessària per realitzar les diferents tasques. No tinc clar que s'espera de mi en aquest curs. Puc escollir entre una gran varietat de tasques per aprendre l'assignatura d'EG.	Satisfacció acadèmica (Ramsden, 1991)	1
P11	Estic segur/a que puc dominar les habilitats ensenyades a classe d'Expressió Gràfica (EG) aquest any. Estic segur/a que puc trobar la manera de fer la feina més difícil de la classe d'EG. Quan la feina d'EG és complicada, de vegades no puc fer-la. Puc fer gairebé tota la feina d'EG a classe si no em rendeixo.	Autoeficàcia (Midgley, 2000)	2

Taula 1. Preguntes 10 i 11 i relació amb les qüestions de recerca.

## 5. Conclusions

En aquesta comunicació s'ha presentat la innovació educativa desenvolupada durant el curs 2022-2023 dins del marc dels projectes Galàxia Aprenentatge de la UPC. L'eina utilitzada dins del context de l'assignatura Expressió Gràfica de primer curs de diferents graus de la universitat és un assistent virtual o xatbot, que ajuda als alumnes en el seu autoaprenentatge, competència transversal treballada en l'assignatura. S'ha mostrat com amb la introducció dels més nous models generatius de llenguatge com GPT3.5 i 4 s'ha arribat a un

punt de perfeccionament dels assistents virtuals que els fan especialment indicats per tot tipus de tasques dins de l'entorn educatiu. També s'ha mostrat el disseny de l'experiment de tipus ex post facto, a on s'analitza abans i després de l'ús del xatbot diferents indicadors com són l'interès en l'assignatura, la satisfacció acadèmica i l'autoeficàcia com a confiança en l'autoaprenentatge.

Per al futur es pretén mostrar amb l'anàlisi estadística corresponent la incidència entre l'alumnat de l'ús d'aquesta eina dins del desenvolupament de l'assignatura, així com el grau de precisió de les seves respostes en el camp del disseny en tres dimensions assistit per ordinador.

## Referències

- Bahrani, A., Khamoshifar, M., Abbasimehr, H., Riggs, R. J., Esmaeili, M., Majdabadkohne, R. M. et al. (2023). ChatGPT: Applications, Opportunities, and Threats. *2023 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*. Charlottesville, VA, USA. 274-279. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.09103>
- Bandura, A. (1997). *Self-Efficacy: The Exercise of Control*. New York: Freeman.
- Croasmun, J. T., & Ostrom, L. (2011). Using Likert-Type Scales in the Social Sciences. *Journal of Adult Education*, 40(1), 19-22.
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational Beliefs, Values and Goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109-132. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135153>
- Fryer, L., Ainley, M., & Thompson, A. (2016). Modelling the links between students' interest in a domain, the tasks they experience and their interest in a course: Isn't interest what university is all about?. *Learning and Individual Differences*, 50, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.08.011>
- Fryer, L., Ainley, M., & Dutta, Z. S. (2017). Stimulating and sustaining interest in a language course: An experimental comparison of Chatbot and Human task partners. *Computers in Human Behavior*, 75, 461-468. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.05.045>
- Ichihara, M., & Arai, K. (2004). The development of academic perceived competence and intrinsic interest: A cross-sectional study in Grade 4 through 9 students. *Tsukuba Psychological Research*, 27, 43-50.

- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F. et al., (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences* 103 (2023) 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Midgley, C., Maehr, M. L., Huda, L. Z., Anderman, E., Anderman, L., Freeman, K. E. et al. (2000). Manual for the patterns of adaptive learning scales. *Ann Arbor*, 1-66.
- Okonkwo, C. W., & Ade-Ibijola, A. (2021). Chatbots applications in education: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence* 2. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100033>
- Qiu, X., Sun, T., Xu, Y., Shao, Y., Dai, N., & Huang, X. (2021). Pre-trained models for natural language processing: A survey. *Science China Technological Sciences*, 63(10), 1872-1897. <https://doi.org/10.1007/s11431-020-1647-3>
- Ramsden, P. (1991). A Performance Indicator of Teaching Quality in Higher Education: The Course Experience Questionnaire. *Stud. High. Educ.*, 16(2), 129-150. <https://doi.org/10.1080/03075079112331382944>
- Schiefele, U. (1999). Interest and learning from text. *Scientific Studies of Reading*, 3(3), 257-279. [https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0303\\_4](https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0303_4)
- Shahanan, M., McDonell, K. & Reynolds, L. (2023). Role play with large language models. *Nature*, 623, 493-498. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06647-8>
- Smith, M. K. (2010). David A. Kolb on experiential learning. *The encyclopedia of pedagogy and informal education*. <https://infed.org/mobi/david-a-kolb-on-experiential-learning/>
- Smutny, P., & Schreiberova, P. (2020). Chatbots for learning: A review of educational chatbots for the Facebook messenger. *Computers & Education*, 151, 103862. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103862>
- Toosi, A., Bottino, A., Saboury, B., Siegel, E. & Rahmim, A. (2021). A brief history of AI: how to prevent another winter (a critical review). *PET Clinics*, 16(4), 449469, Oct. 01. <https://doi.org/10.1016/j.cpet.2021.07.001>
- Tuckman, B. W. (1972). *Conducting Educational Research*. The Ohio State University.
- Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, LIX(236), October 1950, 433-460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
- UNESCO (2022). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial*.
- UNESCO (2023). *ChatGPT e Inteligencia Artificial en la educación superior*.



- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N. et al. (2017). Attention is all you need. *In Advances in Neural Information Processing Systems*, 5998-6008.
- VVAA (2022). *Guia docent 820003 – EG – Expressió Gràfica*. Disponible a [https://www.upc.edu/estudispdf/guia\\_docent.php?codi=820003&lang=ca](https://www.upc.edu/estudispdf/guia_docent.php?codi=820003&lang=ca)
- Wang, J., Hwang, G.-H. & Chang, C.-Y., (2021). Directions of the 100 most cited chatbot-related human behavior research: A review of academic publications. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100023>
- Yendury, G., Ramalingam, M., Chemmalar, S. G., Supriya, Y., Srivastava, G., Kumar, P. et al. (2023). Generative Pre-trained Transformer: A Comprehensive Review on Enabling Technologies, Potential Applications, Emerging Challenges, and Future Directions. *ArXiv*, 2305, 10435v2. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.10435>
- Zhang, K. & Aslana, A. B. (2021). AI technologies for education: Recent research & future directions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025>
- Zhang, J. S., Florin, S., Lee, A. N., Niknafs, E., Marginean, A., Wang, A. et al. (2023). Exploring the MIT Mathematics and EECS Curriculum Using Large Language Models. *arXiv*, 2306, 08997v1. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.08997>
- Zimmerman, B.J., Kitsantas, A., & Campillo, M. (2005). Evaluación de la Autoeficacia Regulatoria: Una Perspectiva Social Cognitiva. *Evaluar*, 5. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). ISSN N °1515-1867. <https://doi.org/10.35670/1667-4545.v5.n1.537>

---

# Análisis del impacto ambiental de la logística de última milla en el comercio electrónico para la ciudad de Terrassa

---

**Alberto Bravo Navarro**

EEBE

**Bàrbara Sureda Carbonell**

EEBE. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## Resumen

En este trabajo se presenta una investigación sobre la logística de última milla en el contexto del comercio electrónico para la ciudad de Terrassa. Se trata de un fenómeno que ha experimentado un crecimiento del 25% en los últimos cinco años y que plantea importantes retos para la movilidad urbana, el medio ambiente y la competitividad de las empresas.

La investigación se fundamenta en el análisis exhaustivo de los datos obtenidos de empresas de última milla que operan en Terrassa. A partir de este análisis, se plantean nuevas soluciones para mejorar la logística de última milla en la ciudad, teniendo en cuenta aspectos como la estrategia, el impacto ambiental y el análisis financiero.

Asimismo, se identifican las principales barreras económicas, técnicas, normativas y sociales que dificultan la distribución urbana de mercancías en Terrassa y se proponen recomendaciones para superarlas. También se evalúa cómo estas soluciones pueden ser aplicadas en un escenario real, teniendo en cuenta factores como la infraestructura existente, las regulaciones locales y las preferencias del consumidor.

Finalmente, el trabajo tiene como objetivo contribuir al conocimiento y a la mejora de la logística de última milla en el ámbito del comercio electrónico, así como ofrecer recomendaciones para su transformación hacia un modelo óptimo y sostenible.

## Abstract

This work presents a study on last-mile logistics within the framework of e-commerce in the city of Terrassa. This is a phenomenon that has seen a growth of 25% over the past five years, posing significant challenges for urban mobility, environmental sustainability, and business competitiveness.

The research is grounded in a comprehensive analysis of data gathered from last-mile companies operating in Terrassa. Based on this analysis, innovative solutions are proposed to enhance last-mile logistics in the city, considering factors such as strategic planning, environmental impact, and financial analysis.

Furthermore, the primary economic, technical, regulatory, and social obstacles that impede the urban distribution of goods in Terrassa are identified, and recommendations are put forth to address them. The study also assesses how these solutions can be implemented in a real-world scenario, considering elements like existing infrastructure, local regulations, and consumer preferences.

Ultimately, the aim of this work is to contribute to the understanding and improvement of last-mile logistics in the realm of e-commerce, as well as to provide recommendations for its evolution towards an optimal and sustainable model.

---

## 1. Introducción

El comercio electrónico en España ha experimentado un auge notable en los últimos años, según indican los datos publicados por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC).

En el gráfico 1 se observa el volumen de negocio del comercio electrónico en España, su evolución desde 2018 hasta 2022 y la variación interanual (datos de CNMC).

Se puede observar un crecimiento significativo del comercio electrónico en España, alcanzando un récord histórico de más de 72.000 millones de euros en 2022, con un aumento del 25,37 % respecto al año anterior.

La Tabla 1 presenta las cinco categorías de comercio electrónico que generaron mayores ingresos en 2022, junto con su respectivo porcentaje del volumen total. La categoría "Otros" engloba una variedad de productos y servicios, y destaca como la más lucrativa,

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILLA EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO PARA LA CIUDAD DE TERRASSA

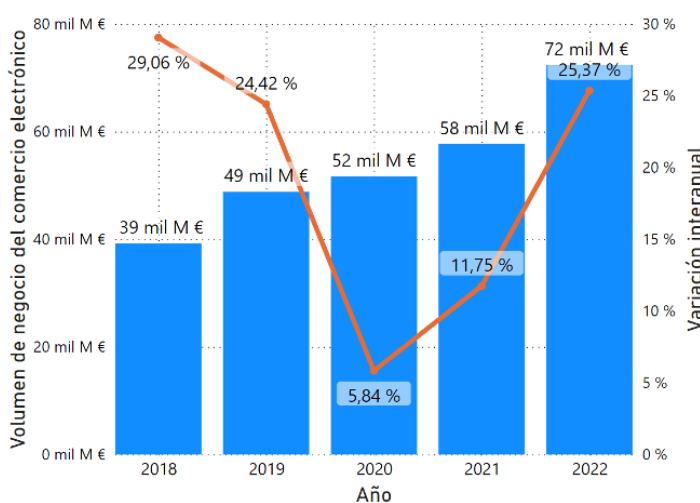


Gráfico 1. Evolución anual del volumen de negocio del comercio electrónico (en millones) y variación interanual (CNMC).

Rama de la actividad	Ingresos en 2022	%
Otros	11.108.071.367 €	15,34%
Agencias de viajes y operadores turísticos	6.317.973.512 €	8,73%
Prendas de vestir	4.684.867.977 €	6,47%
Transporte aéreo	4.088.827.719 €	5,65%
Servicios a la intermediación financiera	3.349.665.626 €	4,63%

Tabla 1. Las cinco ramas de actividad con mayor volumen de negocio en 2022 y porcentaje sobre el volumen total (CNMC).

representando el 15,34 % del volumen total con más de 11 millones de transacciones. En segundo lugar, se encuentran las “Agencias de viajes y operadores turísticos”, que aportan el 8,73 % del volumen

total, generando ingresos de 6,32 millones. Las “Prendas de vestir” ocupan el tercer lugar, contribuyendo con el 6,47 % del volumen total y generando 4,68 millones en ingresos.

Desde una perspectiva medioambiental, el comercio electrónico es un tema complejo y controvertido, que depende de múltiples factores, como el tipo de producto, el modo de transporte, el embalaje, la devolución, el consumo energético, etc. Algunos estudios sugieren que el comercio electrónico puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al evitar los desplazamientos de los consumidores a las tiendas físicas, optimizar las rutas de entrega y favorecer la economía circular. Otros estudios indican que el comercio electrónico puede aumentar las emisiones al generar más demanda, más envíos aéreos, más embalajes, más devoluciones y más residuos electrónicos. Por lo tanto, es necesario evaluar el impacto medioambiental del comercio electrónico de forma integral y adoptar medidas para minimizarlo.

## 2. Objetivo y metodología

Este trabajo se centra en el análisis de las entregas de paquetería de las empresas de reparto del comercio electrónico en la ciudad de Terrassa, con el objetivo de evaluar su impacto medioambiental y proponer soluciones para aumentar la sostenibilidad. El estudio se estructura de la siguiente manera:

**Objetivo General:** El propósito principal es diagnosticar el impacto medioambiental de las entregas en el último tramo de la cadena logística y proponer soluciones eficientes para reducir este impacto. Para ello se han seguido una serie de fases:

**Fase 1:** Recopilación de datos: Se recogen datos sobre las dinámicas de entrega de las plataformas de comercio electrónico y el impacto medioambiental de las entregas de mercancías en última milla.

**Fase 2:** Análisis de datos: Se analizan los datos recopilados para identificar los principales problemas ambientales de la distribución urbana de mercancías en Terrassa.

**Fase 3:** Identificación de barreras y propuestas de soluciones: Se identifican las principales barreras a las que se enfrentan las empresas de distribución urbana de mercancías y se proponen soluciones eficientes.

**Fase 4:** Conclusiones: Se presentan las conclusiones del estudio, incluyendo recomendaciones para mejorar la sostenibilidad de la distribución urbana de mercancías en Terrassa.

**Fase 5:** Propuestas de soluciones: Se proponen soluciones basadas en los hallazgos del estudio.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión detallada y rigurosa de la logística de última milla en Terrassa, con el fin de ayudar a las empresas de reparto y a las autoridades municipales a mejorar la eficiencia, sostenibilidad y calidad del servicio. El informe final se presentará al Ayuntamiento de Terrassa y a otros interesados.

### **3. Análisis**

Se han recopilado y analizado datos de 972.677 entregas realizadas por empresas de reparto entre octubre de 2019 y mayo de 2021. El objetivo es recabar información detallada sobre las características, el comportamiento y las necesidades, tanto de los clientes como de las empresas de reparto de la última milla. Esta información es esencial para comprender y optimizar el proceso de entrega.

Los datos recopilados incluyen la siguiente información: fecha de la entrega, país, provincia, ciudad, dirección, tipo de dirección, número de ruta, número de parada en la ruta, código postal, peso del paquete, largo del paquete, alto del paquete, ancho del paquete.

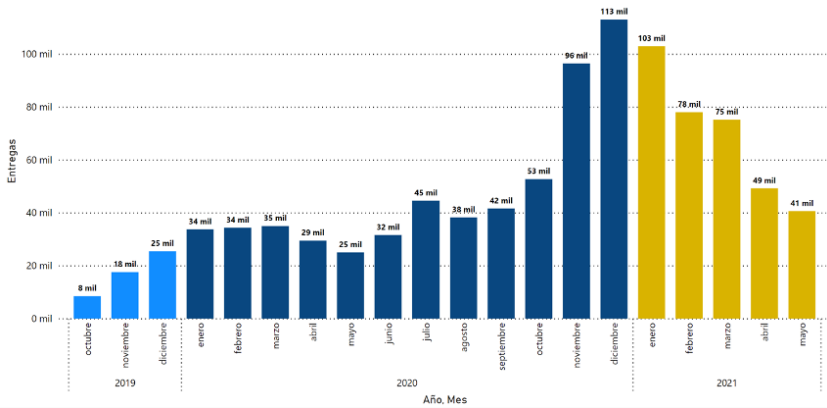


Gráfico 2. Tamaño de muestra por mes y año en función de las entregas realizadas durante el periodo del estudio (Empresas de reparto).

El análisis de los datos se realiza utilizando métodos estadísticos y de modelización, examinando variables como el volumen de entregas por tipo de dirección, el volumen de entregas por código postal, peso y tamaño de los paquetes, así como la evolución y la tendencia de la demanda de entregas en el tiempo.

### 3.1. Volumen de entregas por tipo de dirección

La forma de distribuir las entregas en la ciudad afecta a la eficiencia logística y al impacto ambiental. La distribución depende de factores como la demografía, la actividad comercial y la ubicación de los puntos de recogida, y crea diferentes patrones de entrega.

El gráfico 3 muestra cómo las entregas a domicilios residenciales se reparten por toda la ciudad, pero con menos densidad que las direcciones comerciales o los lockers. El análisis muestra que la mayoría de los usuarios prefieren recibir sus pedidos en su domicilio particular con un total de 61,94 %, por comodidad.

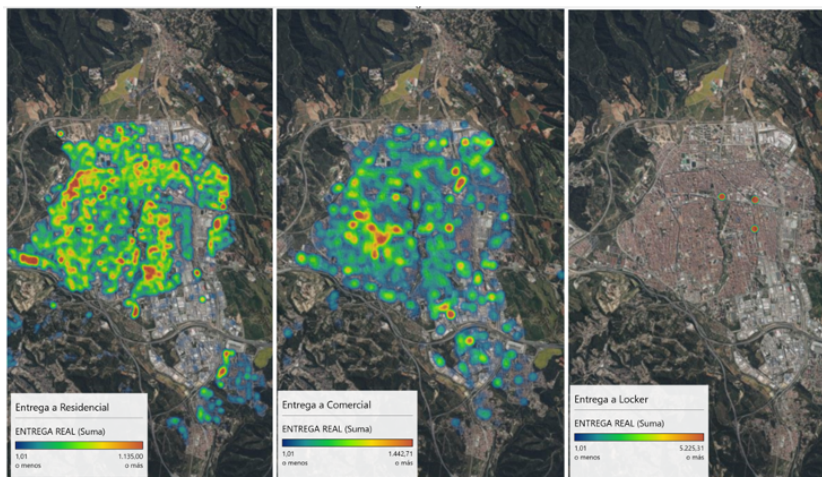


Gráfico 3. Densidad de las entregas en función del tipo de dirección (Empresas de reparto).

Las entregas en locales comerciales se concentran sobre todo en el centro de la ciudad y en las zonas comerciales de la periferia. Las entregas en locales comerciales representan el 28,62 %, estas facilitan la recogida en el trabajo o en el comercio.

Finalmente, la opción menos elegida son los lockers o taquillas inteligentes con un 9,24 %, pero cada vez más solicitados, por su flexibilidad horaria. Las entregas en lockers se hacen en tres puntos específicos situados en el sector industrial norte.

### **3.2. Coste del paquete por el envío en la última milla**

Para el siguiente análisis, utilizaremos los datos proporcionados por la empresa y estimaciones del coste en que incurre una empresa de reparto. Integraremos toda esta información para determinar el precio mínimo por paquete que permitiría a la empresa obtener beneficios.



Las categorías son las divisiones que se utilizan para clasificar los diferentes tipos de costes que se generan en la actividad del reparto. Cada categoría tiene unas características y unos criterios específicos para su identificación y cálculo. La determinación de los costes consiste en el proceso de asignar un valor monetario a cada uno de los recursos que se consumen o se utilizan en la realización de la actividad. Para ello, se deben seguir unos métodos y unas normas contables que permitan obtener una información fiable y comparable sobre los costes.

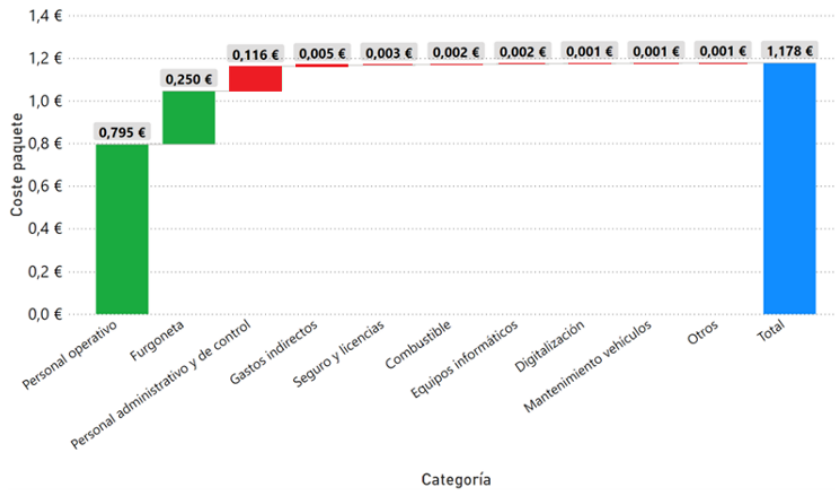


Gráfico 5. Coste del envío de un paquete por categoría y total (Empresas de reparto).

El gráfico 5 muestra la distribución de los costes asociados con el envío de un paquete. Los costes fijos, que se mantienen constantes independientemente del nivel de actividad, representan la mayor parte de los costes e incluyen el alquiler de la furgoneta y el salario del repartidor. A pesar de ser constantes, estos costes pueden optimizarse mejorando las rutas y los tiempos de entrega.

Por otro lado, los costes variables, que varían en función del nivel de actividad, tienen una menor incidencia en el coste total, pero son igualmente importantes. Estos costes incluyen el combustible, seguros, mantenimiento, digitalización, gastos indirectos y otros, y aunque son inevitables, pueden gestionarse eficientemente para minimizar su impacto.

#### **4. Diagnóstico medioambiental**

##### ***4.1. Estudio sobre el impacto ambiental de las furgonetas de reparto***

En este apartado, se presenta un análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al transporte de mercancías por carretera con furgonetas que cumplen con la normativa Euro 6 y utilizan gasóleo B7 como combustible. Se plantean cinco escenarios que varían en el número de furgonetas, la distancia recorrida y el tiempo de reparto.

- **Escenario 1:** Operación de una sola furgoneta durante un día.
- **Escenario 2:** Operación de veintidós furgonetas durante un día.
- **Escenario 3:** Operación de una sola furgoneta durante un mes.
- **Escenario 4:** Operación de treinta furgonetas realizando repartos durante un mes.
- **Escenario 5:** Operación de treinta furgonetas realizando repartos durante un año.

Se utilizan los factores de emisión proporcionados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Se convierten las emisiones de cada gas a su equivalente en CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> eq) usando el potencial de calentamiento global (GWP) de cada gas (Myhre & Shindell, 2013).

Escenarios	Combustible	Cifra (l)	Kg CO <sub>2</sub>	g CH <sub>4</sub>	g N <sub>2</sub> O	Totales kg CO <sub>2</sub> eq
Escenario 1	B7 Diésel	6	14,92	0,05	0,44	15,04
Escenario 2	B7 Diésel	132	328,15	1,06	9,77	330,77
Escenario 3	B7 Diésel	180	447,48	1,44	13,32	451,05
Escenario 4	B7 Diésel	5400	13.424,40	43,20	399,60	13.531,50
Escenario 5	B7 Diésel	65700	163.330,20	525,60	4.861,80	164.633,29

Tabla 6. Resultados de los escenarios en emisiones y CO<sub>2</sub> equivalente (MITECO).

En la tabla 6 se muestran los resultados de las emisiones totales de GEI y el CO<sub>2</sub> eq para cada escenario. Se observa que las emisiones aumentan con el número de furgonetas, la distancia recorrida y el consumo de combustible. En el escenario 5, que representa una situación real, ya que implica un año completo de actividad de reparto con 30 furgonetas, las emisiones totales ascienden a más de 163 mil kg de CO<sub>2</sub>, más de medio kilogramo de CH<sub>4</sub> y más de 4,86 kg de N<sub>2</sub>O.

#### **4.2. Impacto ambiental del envío de un paquete en la última milla**

Se evalúa el impacto ambiental de un solo envío en la distribución de mercancías en la última milla, utilizando una furgoneta que transporta un promedio de 100 paquetes por ruta. Se consideran tanto las entregas exitosas como las devoluciones, estas últimas ocurren cuando un cliente rechaza el producto o cuando el repartidor no puede localizar al cliente, el resultado es la devolución del paquete al centro de distribución. Estas situaciones representan una pérdida de tiempo y recursos para la empresa, por lo que se busca minimizarlas a través de una planificación y seguimiento más eficaces de las rutas de entrega.

Se estima que entre el 1-2 % de los paquetes entregados por ruta son devueltos, lo que equivale a entre 1 y 2 paquetes devueltos por ruta. En un día con treinta rutas y un promedio de 100 paquetes por ruta, se devolverían entre 30 a 60 paquetes. Estos paquetes son recogidos por una sola furgoneta que realiza una ruta única (ruta de arrastre), haciendo un último intento de entrega al cliente, con destino final al centro de distribución.

Por lo tanto, se presentan varios escenarios para las entregas:

- Entrega realizada con éxito en el primer intento, solo interviene una furgoneta.
- Entrega realizada con éxito en el segundo intento, intervienen dos furgonetas, la del repartidor principal y la del repartidor de la ruta de arrastre.
- Entrega fallida en el primer y segundo intento de entrega y devuelto a la estación de distribución.

En cuanto a las entregas fallidas, denominadas devoluciones, se presentan dos escenarios:

- Entrega fallida porque no se localiza al cliente y este quiere el paquete. Este paquete el día siguiente saldrá de nuevo en ruta.
- Entrega fallida porque el cliente no quiere el paquete. Este paquete se queda en el centro de distribución y no volverá a salir en ruta. Solo realizará el proceso de devolución al centro origen.

Para fomentar la concienciación de los consumidores y las empresas del sector, se propone la creación de una etiqueta que muestre el impacto ambiental de cada paquete. Esta etiqueta reflejaría la huella de carbono generada por el paquete durante la última milla, que es donde los productos de la cadena de suministro tienen el mayor impacto ambiental.

Escenarios	Emisiones Kg CO <sub>2</sub> eq
Entrega realizada con éxito en el primer intento	0,15
Entrega realizada con éxito en el segundo intento	0,40
Devolución	0,55

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.



El título y el icono de la etiqueta simulan el peso de una manzana. En su interior, se muestra la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente que se emite durante el reparto de un paquete en la distribución de la última milla. Este cálculo se basa en un ejemplo de 100 paquetes por ruta de reparto. Esta representación visual sirve como un recordatorio tangible del impacto ambiental de cada entrega.

Feedback para los consumidores. Enlace a la página web de la empresa de distribución donde podrán encontrar más información sobre los métodos de distribución, los vehículos utilizados y la huella de carbono de la empresa.

## 5. Propuesta

La logística de última milla convencional se refiere al transporte de los productos desde el último punto de almacenamiento hasta el destinatario final. Este transporte suele realizarse con vehículos de combustión que generan emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación acústica, además de contribuir a la congestión del tráfico urbano.

La propuesta de logística sostenible de este proyecto tiene como objetivo reducir el impacto ambiental de la logística de última milla en el comercio electrónico para la ciudad de Terrassa, Barcelona. En esta propuesta se estudia la posibilidad de utilizar el transporte público de FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya) para transportar grandes masas de paquetes desde un centro de consolidación hasta los hubs urbanos cercanos a las estaciones de tren, y desde allí distribuirlos con vehículos ecológicos o depositarlos en puntos de conveniencia con taquillas inteligentes que permiten al destinatario recoger su paquete en un lugar determinado.

La estrategia se divide en las siguientes etapas:

**Selección de un centro de consolidación:** El centro de consolidación es el lugar donde se reciben, almacenan y clasifican los paquetes procedentes de los proveedores de comercio electrónico. El centro de consolidación debe estar ubicado cerca de una estación de FGC que tenga conexión directa con las estaciones de los hubs urbanos. En este caso, se podría considerar el uso del centro de talleres de FGC denominado COR (Centro Operativo de Rubí). Gracias a su amplio espacio y su ubicación en la propia línea de FGC, este centro podría ser un lugar ideal para la consolidación de mercancías. Su ubicación facilitaría enormemente la tarea de carga y descarga de mercancías.

**Selección de un hub urbano:** El hub urbano es el lugar donde se reciben los paquetes desde el centro de consolidación y se distribuyen a los destinatarios finales. El hub urbano debe estar ubicado cerca de una estación de FGC que tenga conexión directa con el centro de consolidación y que tenga una alta capacidad de almacenamiento para la demanda de comercio electrónico. La colaboración con el Ayuntamiento puede abrir oportunidades para obtener permisos necesarios, cumplir con las regulaciones locales y posiblemente obtener apoyo financiero o incentivos para la implementación de esta propuesta sostenible y eficiente.

**Selección de una empresa de reparto sostenible:** La empresa de reparto sostenible es la encargada de transportar los paquetes desde el hub urbano hasta los destinatarios finales, utilizando vehículos ecológicos. La empresa de reparto sostenible debe tener experiencia, calidad, seguridad y responsabilidad social. Esta empresa también debería ofrecer el reparto con hubs móviles que se puedan organizar en los puntos más alejados de las estaciones de FGC. Se trata de utilizar un vehículo de gran volumen que actúa como un almacén móvil que transporta mercancías a través de las principales vías de acceso a la ciudad. Este camión descarga los pedidos en ubicaciones estratégicas, y luego los vehículos sostenibles se encargan de la entrega final en las áreas más estrechas y congestionadas de la ciudad.

Además, el Ayuntamiento de Terrassa podría proponer una fase de licitación para la adjudicación de esta fase de la distribución a una empresa que cumpla con los estándares de sostenibilidad y eficiencia. Este proceso de licitación permitiría a varias empresas presentar sus propuestas y demostrar cómo pueden cumplir con los requisitos del Ayuntamiento.

**Seguimiento y evaluación:** El seguimiento y la evaluación son las actividades que permiten medir el impacto y el rendimiento de la propuesta, así como identificar posibles mejoras o correcciones. El seguimiento y la evaluación se basan en indicadores como el número de paquetes transportados, el tiempo de entrega, el ahorro de emisiones, el grado de satisfacción de los clientes y el retorno de la inversión. Se propone utilizar un sistema de información geográfica (SIG) para recoger, analizar y visualizar los datos de la propuesta.

## 6. Conclusiones

Esta propuesta presenta ciertos desafíos, principalmente la necesidad de colaboración entre varias entidades. En primer lugar, se requiere la cooperación de entidades públicas como el Ayuntamiento de

Terrassa, que tendría que aprobar y facilitar la implementación de este plan.

Además, también se necesitaría la colaboración de entidades privadas con derecho público, como es el caso de FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya). FGC tendría que estar dispuesto a adaptar sus operaciones para acomodar el transporte de mercancías.

Por último, también se requeriría la colaboración de empresas privadas del comercio electrónico, como Amazon y AliExpress, entre otras. Estas empresas tendrían que estar dispuestas a ajustar sus operaciones de entrega para alinearse con este nuevo método.

Es importante destacar que, aunque estos desafíos son significativos, no son insuperables. Con la cooperación y el compromiso adecuados de todas las partes involucradas, esta propuesta tiene el potencial de transformar las operaciones de entrega en Terrassa y establecer un nuevo estándar para las entregas ecológicas y eficientes.

La propuesta tiene como beneficios principales:

- **Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>:** Esta propuesta podría ahorrar más de 164 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, lo que equivale a plantar 8.200 árboles o retirar 68 coches de la circulación.
- **Optimizar el reparto y los costes:** Al utilizar el transporte público y las taquillas inteligentes, la propuesta podría mejorar la eficiencia y el ahorro de costes en el reparto, al reducir el número de vehículos, los kilómetros recorridos, el tiempo de entrega y los problemas de aparcamiento.
- **Aumentar la satisfacción de los clientes:** Al ofrecer un servicio ecológico y sostenible, la propuesta podría aumentar la fidelidad y la preferencia de los clientes, que cada vez son más conscientes y exigentes con el impacto ambiental de sus compras.



## Referencias

- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). (2023). *Evolución trimestral del volumen de negocio del comercio electrónico por ramas de actividad*. Accessed: Oct. 15, 2023. [Online]. Available: <https://data.cnmc.es/comercio-electronico/comercio-electronico/conjuntos-de-datos/evolucion-trimestral-del-volumen-de-0>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (Jun. 2023). *Factores de emisión registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono*, 23, 1-68. Accessed: Oct. 14, 2023. [Online]. Available: [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision\\_tcm30-479095.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision_tcm30-479095.pdf) <https://doi.org/10.18356/22202315-2023-1-5>
- Myhre, G., & Shindell, D. (2013). Chapter 8 Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. *In IPCC Fifth Assessment Report*.

---

# Rediseño de una máquina Smith para aportar mejoras en el entrenamiento

---

***Nicolás Capparelli***

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

***Oscar Farrerons Vidal***

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## **Resumen**

En el siguiente artículo se muestra una máquina Smith con mejoras para el entrenamiento. Se buscará contemplar una amplia variedad de movimientos, para que sea utilizada según el usuario desee, en distintas configuraciones, permitiendo ser polivalente; optimizando los rangos de movimiento y el entrenamiento del respectivo grupo muscular, a la vez que mejora los costes, ya que podrá cumplir la función de diferentes máquinas. Se comenzará con un estudio sobre el panorama actual para tener una visión lo más amplia posible. Se procederá luego por un análisis biomecánico de los rangos óptimos de entrenamiento de distintos ejercicios. En segundo lugar, se analizará la implementación de esos recorridos y como se implementarán tanto en los recorridos y peso. Posteriormente, se realizará un análisis estructural y de mecanismos, así como su respectivo análisis de materiales. Con todo determinado, se procederá al modelado de esta, y su puesta en práctica en simulación. Por último, se analizará el impacto ambiental y económico de la máquina, al permitir reemplazar algunas máquinas actuales, brindando repetibilidad y necesitando de menor cantidad de variedad en cada gimnasio comercial, y las ventajas para su existencia en el domicilio de un usuario.

## **Abstract**

The following article presents an upgraded Smith machine for training. The goal is to encompass a wide variety of movements, allowing it to be used as desired by the user in different configurations, making it versatile. This optimization of movement ranges and muscle group training aims to improve costs, as the machine can fulfill the

functions of multiple devices. The article begins with a study of the current landscape to gain the broadest possible perspective. Subsequently, a biomechanical analysis of optimal training ranges for different exercises is conducted. In the second part, the implementation of these ranges and how they will be incorporated into the machine's movements and weight are examined. Following that, a structural and mechanical analysis is carried out, along with a corresponding materials analysis. Once all aspects are determined, the machine is modeled and tested in simulation. Finally, the environmental and economic impact of the machine is analyzed. This includes its ability to replace some current machines in commercial gyms, providing repeatability and requiring less variety in each gym. Additionally, the advantages of having such a machine in a user's home are explored.

---

## 1. Introducción

El objetivo de este trabajo es analizar el estado general de las máquinas presentes en un gimnasio moderno, y diseñar una máquina Smith más versátil, que ponga en perspectiva los estudios presentes al respecto; buscando así optimizar el crecimiento muscular, buscando recorridos y formas más idóneas para realizarlo. Para esto, se buscará investigar sobre el panorama actual; analizar mejoras posibles en recorridos al realizar un ejercicio, optimizándolo; diseñar los sistemas y mecanismos, así como también el análisis y diseño estructural; realizar el estudio de materiales pertinente; y concluir con un análisis económico y una elaboración de conclusiones del trabajo.

## 2. Actualidad

Hoy en día existen 4 variantes principales. En primer lugar, la tradicional sin modificaciones. Luego, observamos 2 variaciones sobre la original, las cuales serán modificar el recorrido vertical por algún pequeño ángulo predefinido generalmente entre  $7^\circ$  y  $12^\circ$ , con el objetivo de favorecer algunos ejercicios, y una segunda llamada "Smith 3D", la cual posee dos ejes, uno vertical y el otro horizontal, agregando un grado de libertad, solo restringiendo la rotación de la barra en sus planos axiales. Los mismos los observamos en las figuras 1 a 4. Además, las 3 pueden a su vez poseer un contrapeso para contrarrestar el peso de la barra y también existen máquinas que



Figura 1 a 4. Máquina Smith y sus variantes. (Johnson, E. <https://www.yanrefitness.com/types-of-smith-machines/>)

engloban más accesorios para mayor variedad de usos, utilizando la misma estructura global.

### 3. Análisis biomecánico

Antes de comenzar a diseñar, deberemos evaluar los requisitos biomecánicos que nos llevarán a evaluar las condiciones que debemos imponer en el diseño para lograr los objetivos planteados. Buscaremos analizar tanto la compatibilidad con ejercicios actuales, como la investigación óptima de recorridos. La misma la realizaremos principalmente en ejercicios de músculos pectorales, piernas y espalda.

En primer lugar, tenemos los pectorales y los deltoides, los cuales se puede observar en las figuras 5, 6 y 7, como varía su activación muscular según el ángulo que el mismo presenta respecto a la vertical.

Como sucede previamente y como encontramos en “Lower extremities joint angles during squats - underexplored parameter of standard rehabilitation and sports exercise” (2022) (Kotiuk, Kostrub, Blonskyi, Sushchenko, Smirnov, Vadzyuk, 2022), las cuatro variantes principales de ejercicios compuestos de piernas presentan diferentes ángulos de inclinación, por lo que no sería posible realizarlos todos en

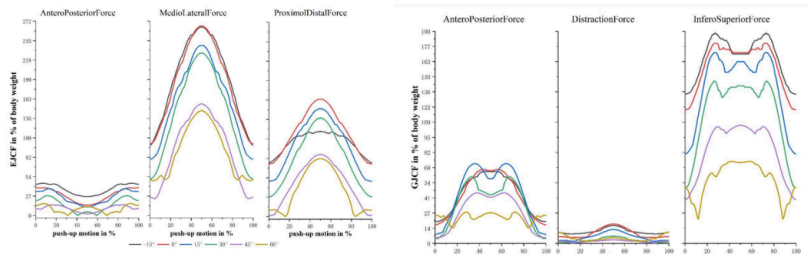


Figura 5. Activación muscular de los pectorales según modificación del ángulo. (Zhang, Dong, Zhao, Hou, Chen, Nie et al., 2023).

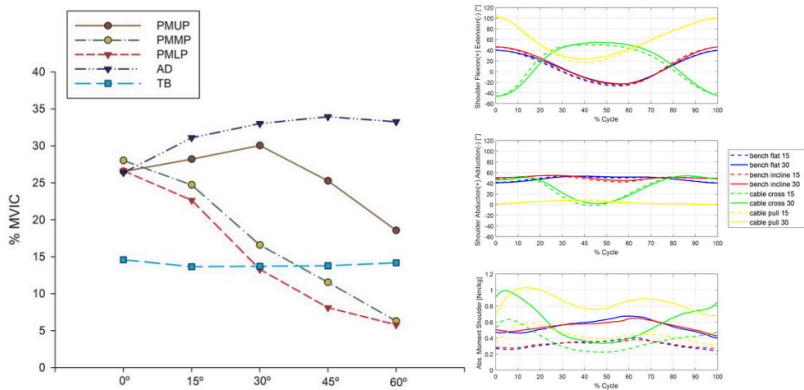


Figura 6. Activación muscular de hombros y pectorales sectorizados según ángulo. (Rodríguez-Ridao, Antequera-Vique, Martín-Fuentes, & Muyor, 2020).

Figura 7. Movement and Loading of Shoulder, Elbow and Wrist Joints. (Schütz, Zimmer, Zeidler, Plüss, Obehofer, List et al., 2022)

una máquina Smith convencional, con solo un eje vertical fijo. A su vez, vemos también las diferencias presentadas entre la media de atletas hombres y mujeres, más allá de la dispersión propia de cada muestra.

En cuanto a los ejercicios de espalda, lo óptimo sería conseguir realizar un recorrido que quede perpendicular al tórax, es decir, como se observa en la figura 8, el recorrido en azul, el cual al no ser paralelo al vector aceleración de la gravedad, sería un movimiento que necesitaría de fuerza en otra dirección al peso para realizarla.



Figura 8. Remo con el recorrido paralelo a la gravedad (rojo) y óptimo (azul). (Dewar, Mike, <https://barbend.com/bent-over-row/>)

#### 4. Diseño

Para el diseño realizaremos una maquina Smith con ángulo variable. Teniendo en cuentas los distintos grupos a diseñar, los cuales serán: la barra y su mecanismo de traba, los rieles de eje vertical y el mecanismo de cambio de ángulo, y la estructura que sostendrá todos los componentes. En primer lugar, se encuentra la barra con discos y los ganchos para el descanso como se observa en la siguiente figura.

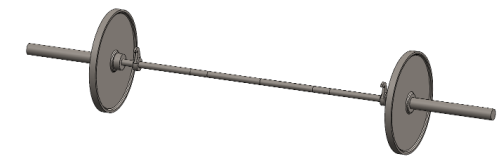


Figura 9. Barra ensamblada.

A continuación, se diseñan los rieles verticales más el nexo entre estos. En la figura 10 se puede ver en acción el mismo.

Teniendo en cuenta la estructura general, el diseño queda de la siguiente manera.

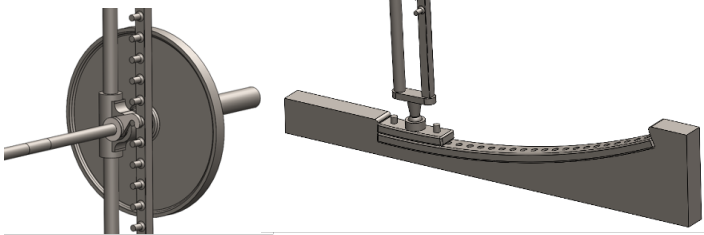


Figura 10. Mecanismo de riel vertical y gancho de agarre.

Figura 11. Mecanismo de cambio de ángulo.

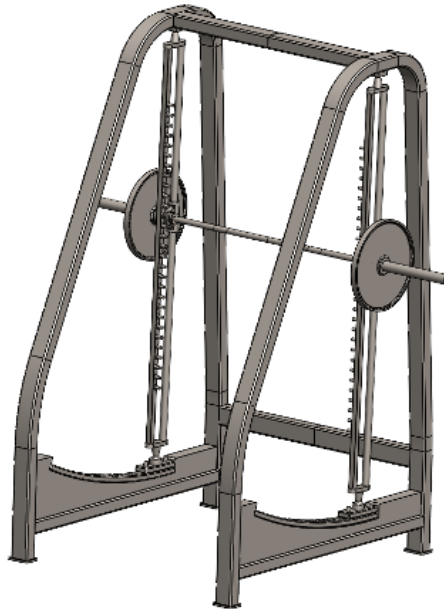


Figura 12. Conjunto ensamblado.

## 5. Estudio de esfuerzos

A continuación, se procede a realizar un análisis de los esfuerzos en las condiciones más críticas, es decir, con carga y en trabajo a 0° y 20°. El mismo será de utilidad para evaluar las piezas más afectadas, el material a utilizar en toda la pieza, y la vida útil de la máquina Smith. Se utilizarán 500kg totales de peso.

Para todos los análisis se utilizará condición de simetría para favorecer la potencia computacional. Por consiguiente, se procede a modelar, mallar y evaluar resultados. Como podemos observar en la figura 13, la tensión máxima es de 201.8 MPa y se da en el nexo como se observa en la figura 14.

Repitiendo la simulación a 20°, observamos que en este caso la tensión máxima se da también en la misma pieza, pero de 253.6 MPa

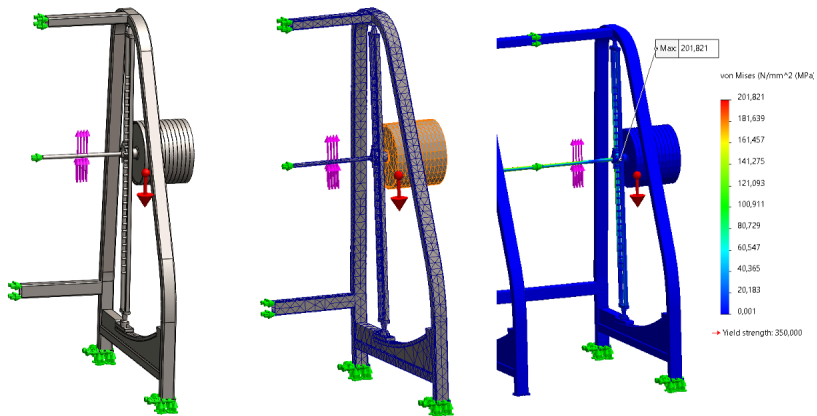


Figura 13. Modelo y mallado del sistema.



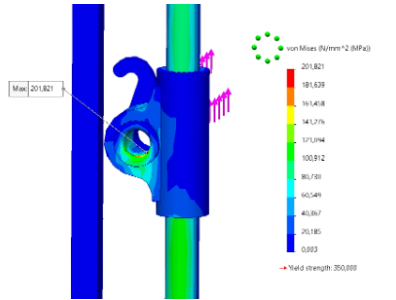


Figura 14. Tensiones en la unión de barra.

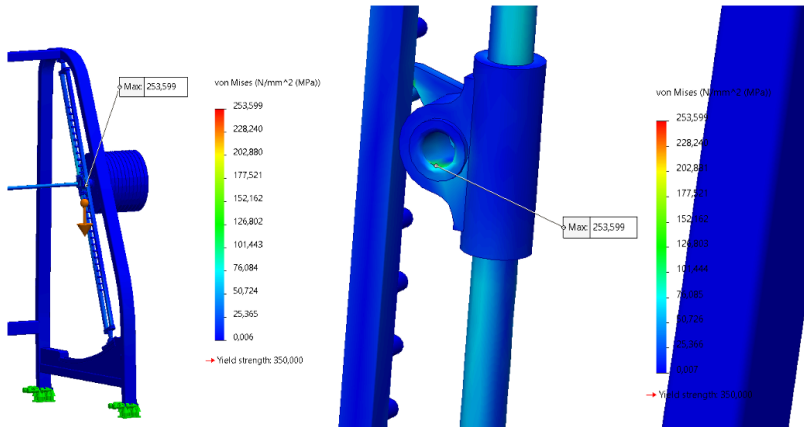


Figura 15. Segundo caso y tensiones en la unión de barra.

## 6. Elección de materiales

Por consiguiente, vemos que todas las piezas con excepción de la barra, y el nexo, se ven sometidas a esfuerzos menores a 150-140 MPa en todas las configuraciones, mientras que a 20° la barra experimenta una tensión máxima de 190 MPa y el nexo de 253 MPa; mientras que a 0°, el nexo soporta 201 MPa.

Por consiguiente, procedemos a seleccionar para su construcción, algún acero AISI de la serie 1000, ya que, al estar aleados solo carbono, serán más baratos y más que suficiente para los esfuerzos que necesitamos. Como vemos en la figura 16, con un acero 1040-1045 laminado en caliente, tendríamos aproximadamente un factor de seguridad para toda la estructura de 2, y vida infinita a fatiga.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (ksi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa (ksi)	ELONGACIÓN EN 2 in., %	REDUCCIÓN EN ÁREA, %	DUREZA BRINELL
G1060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: 1985 SAE Handbook, p. 2.15.

Figura 16. Tensiones admisibles aceros al carbono. (SAE Handbook)

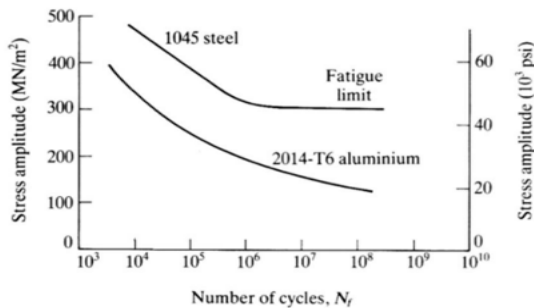


Figura 17. Fatiga. (Diego Erena Guardia)

Para la barra y el nexo, a pesar de que el análisis estático sería correcto, no soportarían a fatiga, dando 210.000 y 6.000 ciclos respectivamente (Capparrelli, 2024), por lo que como se observa en la figura 17, debemos tener un acero AISI 1045 para que quede diseñado a vida infinita.

## 7. Análisis económico

En cuanto al coste de diseño, construcción y ensamblaje, los mismos poseen un coste fijo de 15.204 €, como se observa en las tablas 1 y 2, y costos variables por 600 € por máquina Smith construida como se observa en la tabla 3.

Descripción	Costes
SolidWorks Profesional Trimestral x2 (SolidWorks)	2.496
PC utilizada (Amazon)	650
Periféricos (Logitech)	14
Paquete Office (Microsoft)	44
<b>Total</b>	<b>3.204 €</b>

Tabla 1. Hardware y Software utilizado (Costes fijos).

Descripción	Coste por hora	Horas	Costes
Estudio previo	40	50	2.000
Diseño 3D, Planos y Simulación	40	150	6.000
Redacción	40	100	4.000
<b>Total</b>			<b>12.000 €</b>

Tabla 2. Diseño (Costes fijos).

Descripción		Costes
AISI 1045 laminado en caliente (Alibaba)	500 la tonelada	294 €
AISI 1045 laminado en frío (Alibaba)	1250 la tonelada	33 €
Conformado material (2 horas máquina CNC) (DDPrototype)	24 por hora	48 €
Conformado material (Doblar perfiles)	25 por hora	50 €
Soldador (2 horas de trabajo + material) (CheckATrade)	75 por hora, material y mano de obra	150 €
Ensamblado (1 hora extra)	25 por hora	25 €
<b>Total</b>		<b>600 €</b>

Tabla 3. Costos de materiales y mano de obra (Costes variables).

Por consiguiente, vemos que los costos van disminuyendo con la cantidad, y como se observa en la tabla 4, entre las 5 y 10 unidades ya nos encontramos en el rango de precios actuales.

Cantidad de máquinas Smith	Costo total (Euros)	Costo unitario (Euros)
1	15.800	15.800
2	16.400	8.200
5	18.200	3.640
10	21.200	2.120
20	27.200	1.360
50	45.200	904

Tabla 4. Costos totales y unitarios.

## 8. Conclusiones

Como conclusión, vemos que llegamos a un diseño el cual cumple tanto los objetivos iniciales, como los requerimientos de funcionalidad y que está diseñada a vida infinita, siendo posible la utilización de la máquina de por vida. Como evaluamos en el estudio inicial, conseguimos obtener una máquina Smith, la cual posee una mejora frente a las existentes, permitiendo una variación del ángulo de trabajo desde 0° a 20° y como la misma se puede utilizar de ambos lados, por consiguiente, cubriría también el rango -20° a 0°, teniendo una utilidad aún más versátil. Por consiguiente, se inicia la incursión hacia las máquinas Smith inclinadas de forma variable, permitiendo el reemplazo de ejercicios y máquinas preexistentes, por la diseñada en este trabajo. De este modo se podrá mejorar notablemente la activación muscular en determinados ejercicios y configuraciones, permitiendo el estudio de estos y las sucesivas mejoras que se puedan hacer a la disciplina. Por último, comentar que las mejoras que se puedan realizar sobre la máquina podrían realizarse sobre el diseño original, utilizando como punto de partida el análisis acá previsto.

## Referencias

- Capparrelli, N. (2024). Estudio y rediseño de una máquina Smith para aportar mejoras en el entrenamiento en línea con los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.
- CheckATrade. (s.f.). Obtenido de <https://www.checkatrade.com/blog/cost-guides/cost-of-welding/>
- DDPrototype. (s.f.). Obtenido de <https://www.ddprototype.com/factors-affecting-cnc-machining-costs-2/>
- Johnson, E. (s.f.). Obtenido de <https://www.yanrefitness.com/types-of-smith-machines/>
- Kotiuk, V., Kostrub, O., Blonskyi, R., Sushchenko, L., Smirnov, D., Vadzyuk, N. (2022). Lower extremities joint angles during squats - underexplored parameter of standard rehabilitation and sports exercise. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 10(4), 17-24. <https://doi.org/10.18276/cej.2022.4-02>

- Logitech. (s.f.). Obtenido de <https://www.logitech.com/es-es/products/mice/m100-usb-mouse.910-006652.html>
- Microsoft. (s.f.). Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/>
- Rodríguez-Ridao, D., Antequera-Vique, J. A., Martín-Fuentes, I. & Muyor, J. M. (2020). Effect of Five Bench Inclinations on the Electromyographic Activity of the Pectoralis Major, Anterior Deltoid, and Triceps Brachii during the Bench Press Exercise. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(19), 7339. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197339>
- SAE Handbook. (s.f.). Obtenido de <https://europer.cl/wp-content/uploads/2021/10/INFORMACION-TECNICA-SAE-1045.pdf>
- Schütz, P., Zimmer, P., Zeidler, F., Plüss, M., Obehofer, K., List, R. et al. (2022). Chest Exercises: Movement and Loading of Shoulder, Elbow and Wrist Joints. *Sports*, 10(2), 19. <https://doi.org/10.3390/sports10020019>
- SolidWorks. (s.f.). Obtenido de <https://solid-bi.es/precio-solidworks/>
- Zhang, J., Dong, Z., Zhao, S., Hou, G., Chen Y., Nie, J. et al. (2023). Joint Loading and Muscle Activation of Upper-body in Different. Obtenido de <https://assets.researchsquare.com/files/rs-3344478/v1/2ba64575-a1be-4ab1-90eb-e93be3b11e9b.pdf?c=1695561734>

---

# Implementación de un cuatrimestre cero para la asignatura de Expresión Gráfica en la EEBE y en la FNB de la UPC

---

## **Mariolly Dávila**

EEBE, Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## **Andrea Parga**

FNB, Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques (UPC)

## **Oscar Farrerons**

EEBE, Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## **Resumen**

Este estudio, en el ámbito de la representación técnica, persigue el refuerzo al programa académico de los siete grados de ingeniería que se imparten en la Escola d'Enginyeria de Barcelona Est y de dos de los grados que ofrece la Facultad de Náutica de Barcelona. Se propone la 'Implementación de un cuatrimestre cero para la asignatura de Expresión Gráfica en la EEBE y en la FNB de la UPC'. El objetivo es potenciar la práctica de la 'Visualización' en el entorno de la ingeniería gráfica. La aportación tiene relevancia sobre el conocimiento de los fundamentos de la asignatura de Expresión Gráfica. Se ha optado por la exposición apoyada en técnicas multimedia, como medio paralelo a las prácticas guiadas en el aula informática, con especial énfasis en la metodología de cada uno de los ejercicios sobre el 'Reconocimiento de la Forma' y su representación gráfica tanto manual como digital. La iniciativa cuenta con la valoración positiva por parte del alumnado actual de la EEBE y de la FNB. Se trabaja en precisar la propuesta como prueba piloto para el curso 24-25. Tanteo que aportará la experiencia y los datos suficientes para su organización definitiva en atención al refuerzo de los conocimientos del alumnado de nuevo ingreso.

## Abstract

This study, in the field of technical representation, seeks to reinforce the academic program of the seven engineering degrees taught at the Escola d'Enginyeria de Barcelona Est and two of the degrees offered by the Faculty of Nautical of Barcelona. The 'Implementation of a zero semester for the subject of Graphic Expression at the EEBE and the FNB of the UPC' is proposed. The objective is to promote the practice of 'Visualization' in the graphic engineering environment. The contribution is relevant to the knowledge of the fundamentals of the subject of Graphic Expression. The exposition supported by multimedia techniques has been chosen, as a parallel means to the guided practices in the computer classroom, with special emphasis on the methodology of each of the exercises on 'Shape Recognition' and its graphic representation, both manual and digital. The initiative has a positive evaluation by the current students of the EEBE and the FNB. We are working on specifying the proposal as a pilot test for the 24-25 academic year. Test that will provide sufficient experience and data for its final organization in response to reinforcing the knowledge of new students.

---

## 1. Introducción

**Expresión Gráfica, 820003, Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE).** La asignatura de “Expresión Gráfica” (EG) que se imparte en la Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) de la UPC forma parte del primer cuatrimestre del programa académico. Es una asignatura troncal, lo que significa que es obligatoria para los siete grados de ingeniería que se imparten en la EEBE (Biomédica, Energía, Eléctrica, Electrónica Industrial y Automática, Mecánica, Química, y Materiales), todos ellos titulaciones del Plan Académico 2009, a excepción del grado de Ingeniería de Materiales, que es del plan 2010. La asignatura tiene un total de 6.0 créditos ECTS; equivalentes a 150 horas de trabajo: 15 h de actividades dirigidas (10 %), 90 h de aprendizaje autónomo (60 %), 45 h de trabajo en grupo pequeño (30 %).

La asignatura EG se imparte en aulas informáticas perfectamente adaptadas y equipadas. Hay nueve aulas informáticas en total en la EEBE. La cantidad máxima teórica de alumnos que pueden cursar la asignatura EG es de 750, que es la capacidad total del Q1, pero es



un número que suele reducirse un poco, dados los casos de convalidaciones u otros; en el curso académico 23-24 están matriculados en la asignatura EG 718 alumnos. Estos alumnos se reparten en 25 grupos, que se organizan entre 14 y 18 profesores diferentes, en función de la cantidad de grupos a los que imparte clase cada profesor.

Las clases de EG son de tres horas lectivas seguidas, en las sesiones se combina la teoría, los problemas y el desarrollo práctico. El horario de los diferentes grupos se reparte entre las 8.00 h y las 21.00 h. En cuanto al idioma, hay grupos en los que las clases se imparten en catalán, otros en español y en inglés. A pesar de la diversidad de grupos, profesores, horarios e idiomas, la asignatura está estructurada de forma única, para evitar agravios comparativos. Para ello, se dispone del campus de enseñanza virtual Atenea UPC (único para todos los grupos), en que la asignatura se estructura por temas. Atenea proporciona material didáctico, teoría, problemas y ejercicios, cuestionarios, y permite recoger las pruebas evaluativas.

La asignatura EG tiene establecidas unas competencias específicas: capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador. Del mismo modo, EG también atiende a unas competencias transversales de Aprendizaje Autónomo, consistente en llevar a cabo tareas de ingeniería gráfica encomendadas en el tiempo previsto, trabajando con las fuentes de información indicadas, de acuerdo con las pautas marcadas por el profesorado.

Los objetivos generales de aprendizaje de la asignatura son tres:

1- Potenciar la concepción espacial, 2- Profundizar en el conocimiento de las formas, y 3- Presentar y practicar la normativa de las técnicas de representación gráfica más usuales en la ingeniería industrial. La asignatura EG utiliza la metodología expositiva en un 20 %, el trabajo

individual en un 40 %, el trabajo en grupos en un 20 % y el aprendizaje basado en proyectos en un 20 %.

Los contenidos concretos de la asignatura EG, así como el sistema de calificación, las normas para la realización de las pruebas y la bibliografía básica recomendada pueden consultarse en la guía docente de la asignatura EG código 820003.

**Expresión Gráfica, 280634, Facultad de Náutica de Barcelona (FNB).** La asignatura de “Expresión Gráfica” (EG) que se imparte en la Facultad de Náutica de Barcelona (FNB) de la UPC forma parte del primer cuatrimestre del programa académico. Es una asignatura troncal que consta de dos módulos: A. Módulo presencial, consiste en cuatro horas semanales de clases presenciales tutorizadas. El curso se organiza y desarrolla como un taller de dibujo donde predomina la práctica, cuenta con una base teórica que vertebra la materia y es común a todas las ingenierías. El perfil náutico se implementa con los apartados ‘Introducción al Dibujo Naval’ y el ‘Dibujo Cartográfico’, propios de la disciplina de la facultad. B. Módulo en línea, consiste en un curso de autoaprendizaje de dibujo asistido por ordenador. Para ello, se dispone de una web propia de la asignatura que proporciona el material didáctico, la teoría, los ejercicios para el desarrollo del módulo; el campus de enseñanza virtual Atenea UPC (único para todos los grupos), permite recoger las actividades a evaluar. El curso lo conforman un conjunto de ejercicios que se desarrollan en horario libre, fuera de las horas presenciales tutorizadas; es accesible desde cualquier conexión a Internet. Se estima que el alumno debe dedicar un par de horas semanales de trabajo personal a este módulo.

Los objetivos de aprendizaje de ambos módulos se centran en:

1- Conocer y manipular el espacio tridimensional representado en documentos técnicos, 2- Distinguir y producir los dibujos y modelos utilizados en ingeniería, 3- Conocer la terminología técnica usada en la expresión gráfica y 4- Utilizar las herramientas de representación técnica dentro de la ingeniería. La metodología docente incluye

actividades que se desarrollan con presencia del profesor y actividades sin presencia del profesor. Para las actividades que se desarrollan con presencia del profesor, la metodología contempla clases teóricas y prácticas guiadas en el aula. Las sesiones incluyen la exposición ordenada de los contenidos de la teoría y la resolución de problemas o estudio de casos por parte del profesor.

En la asignatura de Expresión Gráfica se trabaja por conseguir competencias específicas como la capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador. De modo transversal, se persigue la competencia del Aprendizaje Autónomo, que consiste en llevar a cabo tareas encomendadas en el tiempo previsto, trabajando con las fuentes de información indicadas, de acuerdo con las pautas marcadas por el profesorado.

Los apartados principales que vertebran los contenidos y la planificación del programa son: 1- Sistemas de representación: Fundamentos de la información gráfica. Representación técnica industrial. Métodos y Procedimientos. Introducción al CAD. 2- Representación de piezas y mecanismos I: Símbolos, estándares y normativas. Escala. 3- Representación de piezas y mecanismos II: Dibujo y Diseño Asistido por Ordenador. 4- Representación de piezas y mecanismos III: Croquización, Acotación, Cortes y Secciones. 5- Expresión Gráfica en la ingeniería: Introducción al software de dibujo técnico y modelado 3D. Los dos últimos apartados se perfilan al estudio náutico: 6- Representación técnica del barco: Iniciación al dibujo naval. Plano de Formas y 7- Cartografía y Proyecciones: Dibujo Cartográfico. Dibujo de cartas y proyecciones geométricas.

**Una base para la asignatura de Expresión Gráfica en todas las ingenierías (EEBE-FNB)** En atención al enunciado de los objetivos y de la competencia específica referente a la capacidad de visión espacial que persigue la asignatura EG, tanto en la EEBE como en la

FNB, y al interés del profesorado por consolidar las habilidades útiles para el estudiantado en los procesos de proyecto, se apunta a una de las cuestiones detectadas habitualmente en los alumnos a la hora de ‘enseñar y aprender’ las bases de la representación técnica, que es justamente la dificultad de la adquisición y práctica de la visión espacial a la que se alude directamente entre las competencias de ambos cursos. La ausencia de esa percepción en los estudiantes que comienzan sus estudios, obstaculiza el aprendizaje de la Expresión Gráfica, por lo que se promueve trabajar la ‘Visualización’ con antelación a lo planificado actualmente en los contenidos y programas de la asignatura, tanto en la EEBE como en la FNB. Se considera oportuno que el plan de estudios básico establezca metas precisas en áreas de especialización como la del diseño y la expresión visual; aprender a leer y descifrar códigos y relaciones geométricas en la información de los documentos de proyecto es parte fundamental de la multialfabetización que implica la comunicación gráfica.

**La pregunta de investigación.** Con el pensamiento centrado en el desarrollo de las competencias visuales se posibilita el planteamiento de la incorporación (previa al inicio de las clases en la oferta curricular de la EEBE y de la FNB) de un curso intensivo de refuerzo de conocimientos. Tomando en consideración las características didácticas y la voluntad de enseñanza y aprendizaje de la búsqueda y, con mira a la eficacia en la creación y gestión de proyectos de ingeniería, aparecen las siguientes incógnitas y la pregunta de investigación:

¿Es posible incorporar la ‘Educación de la Mirada’ en el plan de estudios básico de todas las ingenierías? ¿Será posible hacer de la ‘Visualización’ un tema propio? ¿Los futuros estudiantes universitarios tienen la posibilidad de participar, al menos de un breve período de una semana, en un proceso de alfabetización visual y geométrica, más amplio e integrado a los objetivos de la ingeniería gráfica y de diseño?

## **¿Cuál es el impacto de implementar un cuatrimestre cero para la asignatura de Expresión Gráfica (EEBE-FNB) en el rendimiento del estudiantado de las ingenierías?**

Podemos comenzar con una educación adicional apropiada e inspiradora y aproximando la práctica de la 'Visualización' a los ejercicios del aula e, incluso, a la vida cotidiana de profesores y estudiantes. El desarrollo de este trabajo será de utilidad para los alumnos que quieran conocer los fundamentos visuales y geométricos; así como, consolidar la base del aprendizaje de EG con el propósito de promover desde el inicio de la carrera universitaria el pensamiento visual, gráfico y creativo y, a su vez, lograr mejor desenvolvimiento y resultados académicos. La investigación tiene como objetivo contribuir a la instrucción y ejercicio de la 'Visualización', de las relaciones geométricas y al 'Reconocimiento de la Forma' en el entorno de la ingeniería gráfica, mejorando el proceso de aprendizaje del alumnado en EG, con la idea de interiorizar un desenvolvimiento adecuado, aplicable a los futuros procesos de proyecto y de diseño.

La propuesta centra su esfuerzo en la reflexión y planteamiento sobre el método de los ejercicios que guiarán la práctica para lograr la conciencia sobre la 'Visualización' de las piezas y las posibilidades de su representación en un entorno mixto con opciones de desarrollo analógico y digital. Por tanto, se introduce el apartado de la metodología con un breve contexto de progreso de proyecto docente y de investigación de los autores, seguido de una explicación de base con 'El Reconocimiento de la Forma, las Relaciones Geométricas y la Representación Gráfica' hasta llegar a la exposición y desarrollo de la propuesta, con la descripción de los ejercicios que vertebran el cuerpo práctico de la aportación. El trabajo en taller, previo a EG, organizado en cuatro módulos de actividades, tiene la intención de despertar la conciencia sobre las ventajas del conocimiento, manejo, práctica e interacciones de las relaciones geométricas y el instrumental mixto de la representación técnica con la novedad de ir

más allá del seguimiento de un paso a paso e introducir una metodología didáctica desplegada entre 'estrategia y ejecución'.

## 2. Metodología

**Contexto docente y de investigación del estudio.** En este sentido, la labor de la profesora Mariolly Dávila, en seguimiento de uno de los objetivos de su Proyecto Docente, desde la experiencia en la enseñanza continuada de la Expresión Gráfica en la EEBE-UPC (820003), ETSAB-UPC (Dibujo I\_210101), Expresión Gráfica, Universitat Jaume I, UJI (ET1009) y otras universidades internacionales: Expresión Gráfica Arquitectónica y Medios Digitales, en la Universidad del Norte, UN, y Dibujo Básico, Universidad Simón Bolívar, USB; está encaminada a la instrucción del dibujo técnico en el entorno mixto, tanto manual como digital, considerando la 'Visualización' como la herramienta vehicular de planteamiento y desarrollo de representación de piezas y sistemas como base del proyecto de ingeniería.

Por otra parte, y en paralelo, la 'Propuesta didáctica orientada al diseño del modelo 3D / Optimización del entorno gráfico mixto del proyecto de ingeniería / Aplicación en el diseño de superficies en la ingeniería' (2022-24), FNB, UPC. Proyecto de investigación postdoctoral vinculado a las ayudas para la recualificación del sistema universitario español para el periodo 2021-23, en la modalidad María Zambrano, a cargo de la profesora Andrea Parga continúa en activo y deriva en transferencia de conocimiento entre los centros en los que imparte docencia tanto nacionales como internacionales; con la creación y desarrollo de 'Unidades Metodológicas de síntesis para la enseñanza sobre Visualización, Expresión Gráfica, Comunicación Visual y Modelado en los procesos del proyecto de ingeniería'. Tres de estas unidades pueden ser base y/o extensión del curso intensivo introductorio que se presenta como apoyo para la asignatura troncal de Expresión Gráfica:

## **Recursos gráficos introductorios al aprendizaje en ingeniería (R'AI)**

**Ámbito: ingeniería. dibujo. [proceso] visualización.** Algo fundamental para el desarrollo de las propuestas de diseño, es la destreza en la interpretación geométrica y su reconstrucción a través del dibujo técnico. Conocer los distintos sistemas de representación gráfica y la concordancia de su aplicación en el proceso de proyecto es esencial para poder diseñar (Bertoline, Wiebe & Mohle, 1999).

## **Habilidades de dibujo técnico aplicadas a la ingeniería de diseño industrial (D'ID)**

**Ámbito: ingeniería. dibujo. [proceso] proyecto.** En la misma medida, en seguimiento del diseño y una vez conseguido el resultado, se considera importante el saber presentar los elementos en desarrollo y el orden de su documentación como sistema; por tanto, se suman los conceptos de diagramación durante las etapas y el cierre del proyecto.

## **Laboratorio de exploraciones gráficas del producto industrial (L'EG)**

**Ámbito: ingeniería. dibujo. [proceso] producción.** A modo de concretar objetivos, se busca implementar un taller práctico de modelado e impresión 3D, para optimizar el alcance material del proceso de diseño de piezas de ingeniería (Olmedo-Torre, Peña Carrera & Balta Salvador, 2021).

En los tres casos, se trabaja en la creación de un marco metodológico y de una plataforma de aprendizaje para sintetizar las fases del proyecto en ingeniería, empleando la heurística manual analógica combinada con software de modelado tridimensional.

Pensar en un plan de estudios básico, con la idea de módulos multidisciplinares y entornos de aprendizaje que lleguen desde las

escuelas y se refuerzan antes de comenzar la universidad, abre la posibilidad de entender la 'Visualización' como una habilidad significativa capaz de integrar campos de la ciencia y la tecnología, así como de la vida cotidiana (Sorby & Lieu, 2008). El planteamiento del cuatrimestre cero se presenta encaminado a generar una 'prueba piloto', a modo de laboratorio de exploración, en deriva de los progresos de las tres unidades metodológicas, y como 'módulo de articulación' con la asignatura existente de EG para todas las ingenierías.

**El Reconocimiento de la Forma, las Relaciones Geométricas y la Representación Gráfica.** Proyectar obliga a reconocer el conjunto de elementos y de relaciones que se establecen entre ellos, es decir, el sistema a través del cual estos inciden en la configuración del diseño. La representación es el camino por el que se alcanza el reconocimiento, de modo que su ejercicio ha de trascender la simple imitación de lo observado, para asumir una dimensión de intelección visual (Piñón, 2007). Por tanto, se aborda la representación gráfica como la práctica de volver a acoplar los elementos que constituyen un sistema, previo reconocimiento de sus piezas y del orden que las rige. La representación es un modo privilegiado de acceder a lo esencial del objeto sobre el que se trabaja, es decir, al sistema que pauta su organización; este proceso se lleva a cabo a través de la visión. El trabajo académico con imágenes requiere interpretación, análisis y habilidades de estudio propias de la 'Visualización'. Estas habilidades no pueden darse por sentadas y deben ser enseñadas, apoyadas e integradas en el plan de estudios. La alfabetización visual la componen una serie de competencias que permiten al alumno interpretar, evaluar y crear imágenes de forma efectiva. El estudiante alfabetizado visualmente construye representaciones gráficas precisas y apropiadas, ordena el contenido visual según las pautas y propósito del proyecto. Igualmente, utiliza y experimenta la variedad de herramientas informáticas cónsonas al planteamiento entre piezas y sistemas; con la capacidad de identificar el mejor instrumental para generar un producto visual eficiente.



Con esta mira se presentan los cuatros módulos que vertebran la constante sobre lo visual, se hace de un modo progresivo y amplio, con el objeto de conocer los alcances de cada campo y que esto se traduzca en la efectividad de los planteamientos del alumnado que se inicia:

**1- Visualización - Dibujo Manual - Croquis.** A partir de piezas LEGO: El dibujo croquizado aporta proporciones que facilitan la interpretación cualitativa de las dimensiones de un elemento, aunque permite tanto la percepción de conjunto como la del detalle de la información que se desea conocer, no se usa para obtener información métrica precisa. La elaboración de croquis a mano alzada para el modelado de sólidos es útil en cuanto a la extensión del pensamiento del creador, a la exploración de nuevas ideas, al acercamiento a planteamientos complejos; y es por esta razón, que resulta adecuado para introducir el dibujo técnico en los planes de estudio del primer año de las ingenierías; así como, oportuno para consolidar base para asignaturas que incorporan el diseño en cursos más avanzados.

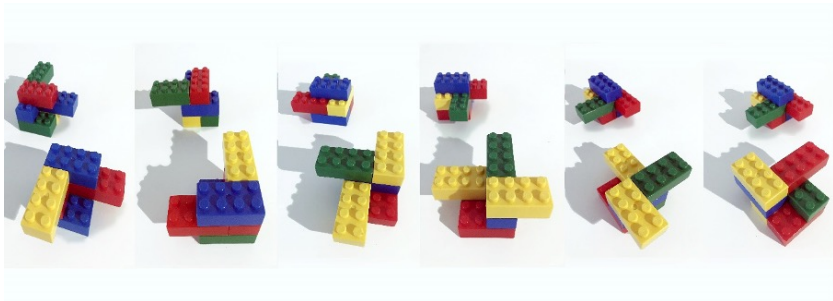


Figura 1. Piezas de LEGO.

**2- Visualización - Dibujo Manual - Trazado con instrumentos básicos.** A partir de Realidad Aumentada: Augment Reality (AR) es una herramienta que integra información digital en entornos del mundo real y que permite analizar un modelo 3D. Según Kipper y Rampolla (2012), el usuario puede disponer e interactuar simultáneamente con objetos tridimensionales mientras realiza ejercicios sobre estos objetos proyectados en papel, optimizando con ello, su visión espacial. Existen estudios donde se aplica la AR en la enseñanza de la gráfica técnica: Ivanova y Ivanov (2011); Farkhatdinov y Ryu (2009); Alves, Fernandes y Sánchez (2008). Estos trabajos arrojan conclusiones positivas en cuanto a la comprensión de las formas y volúmenes de los objetos, así como, un mejor entendimiento de la posición relativa de unos elementos frente a otros. La AR es una tecnología de bajo costo que ofrece un proceso educativo más intuitivo, sencillo y eficaz; permite diseñar material que promueve tanto el aprendizaje autónomo como el trabajo colaborativo. Según Pérez-Belis Bayarri-Porcar, Jarque-Bou, Piquer Vicent, González Lluch y Núñez García (2020), del área de la Expresión Gráfica en Ingeniería en la Universitat Jaume I, el reconocimiento de formas tridimensionales y su posterior representación en dibujos multivistas en bidimensional, es uno de los principales problemas de los estudiantes; en su inquietud por resolverlo, demostraron que la AR facilita la interpretación las características y relaciones geométricas

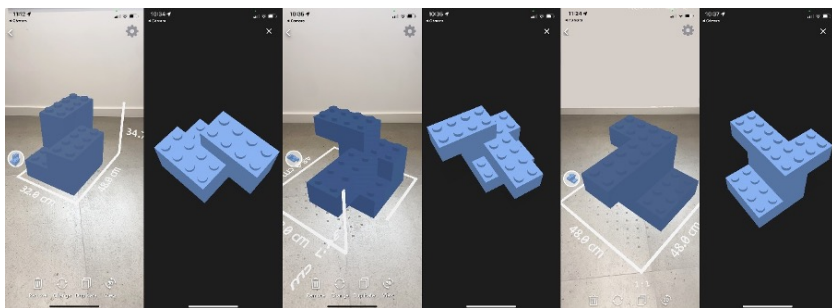


Figura 2. Modelo en Realidad Aumentada.

de los elementos. La AR está bien valorada por el alumnado con un alto nivel de usabilidad.

**3,4- Visualización - Dibujo digital - AutoCAD y SolidWorks.** A partir de vistas 2D acotadas: En los dibujos CAD, los instrumentos de trazado clásicos son reemplazados por herramientas virtuales que permiten construir una mayor variedad de objetos con exactitud. En este entorno, si se entiende la vinculación del dibujo bidimensional inicial con la geometría de sus elementos, se clarifican pautas que apoyan el proceso de ‘Visualización’. La relación entre geometría y dimensiones se conoce como geometría digital y, por método, constituye un recurso que favorece la compresión espacial. Se trabaja con dos programas informáticos, el AutoCAD, CAD 2D geométrico y el SolidWorks, CAD 2D paramétrico; apuntando sus características y principales ventajas. Mientras el AutoCAD es apropiado para el dibujo en 2D, SolidWorks apenas contiene algunas herramientas de dibujo bidimensional (Mohamad & Alfuraih, 2019); SW hila la geometría de los objetos ya que trabaja con conceptos de parametrización y optimización geométrica, generando un modelo 3D con las vistas ortogonales. Este proceso de verificación, rápido y cuantas veces se desee, vincula la visión espacial con el modelo en estudio, favoreciendo de modo directo la ‘Visualización’.

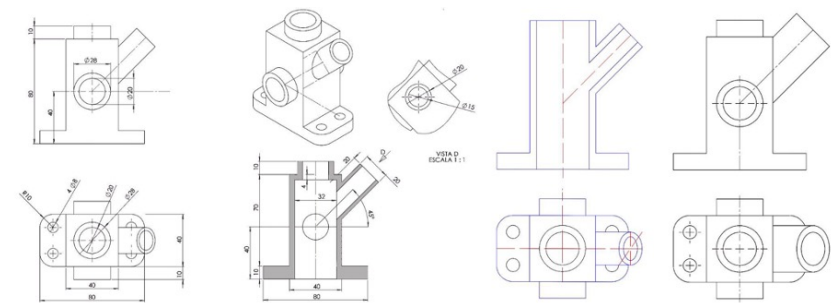


Figura 3. Vistas 2D acotadas, vistas AutoCAD y SolidWorks.

**La propuesta.** El cuatrimestre cero es una estrategia educativa que permite mejorar las capacidades y conocimientos de los aspirantes a una carrera con la idea que puedan cumplir con los requisitos del perfil de ingreso. Son unos talleres voluntarios que ayudan a preparar una asignatura antes de incorporarse a las clases. Se imparten en los días previos al inicio del curso académico. Las carreras técnicas como las Ingenierías necesitan mayor tiempo de estudio por su dificultad, con el objetivo de ayudarles a **reforzar y afianzar conocimientos**, algunas universidades ofrecen los cursos intensivos en cuatrimestre cero, especialmente en las áreas de Matemáticas, Física, Química y Dibujo Técnico. Estos cursos permiten repasar los conceptos más importantes estudiados durante la formación preuniversitaria.

Desde el Departament d'Enginyeria Gràfica i Disseny, DEGD, la profesora Mariolly Dávila y desde el Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques, DCEN, la profesora Andrea Parga plantean la '**Implementación de un cuatrimestre cero para la asignatura de Expresión Gráfica en la EEBE y en la FNB de la UPC**', con la incorporación de un curso intensivo de 5 días, con sesiones de 3h por día. Esto significa un total de 15 h lectivas, con 5 h dedicadas a la teoría y reflexión sobre casos de estudio y 10 h de prácticas tuteladas. El eje vertebrador de la propuesta, como parte del proyecto didáctico común, lo compone la Educación de la Mirada, la Visualización, las Relaciones Geométricas y el Reconocimiento de las Formas; con base del aprendizaje práctico fundamentado en la conexión entre la mano y el cerebro.

**Objetivos.** El cuatrimestre cero en Expresión Gráfica busca potenciar la concepción espacial; así como, impulsar el conocimiento de las formas y de las técnicas de representación gráfica más usuales en la ingeniería. Esto, haciendo énfasis en los métodos tradicionales del dibujo a mano, como base a la incursión en el diseño asistido por ordenador. Para determinar la opinión del alumnado sobre la propuesta, se realizó una encuesta anónima en el taller práctico de

GTM, FNB, UPC. El objetivo de la encuesta fue verificar si el planteamiento de refuerzo y apoyo inicial es considerado útil para su experiencia de acceso en la universidad. La encuesta, que fue contestada voluntariamente, aportó apreciaciones positivas relevantes en el progreso sobre la idea de ‘enseñanza y aprendizaje’ de consolidación del curso intensivo.

*Requisitos previos.* El perfil de ingreso pauta los requisitos oficiales para cursar EG. Sin embargo, los conocimientos con los que el alumno cuenta para abordar la asignatura son los que debe haber recibido en su formación escolar anterior: 1- Conocimientos de geometría relacionados con las composiciones geométricas básicas del dibujo técnico, así como, conocimientos elementales en trigonometría. 2- Conocimientos básicos de los sistemas y técnicas de representación. 3- Capacidad mínima de visión espacial; es decir, contar con la preparación necesaria para asociar las figuras planas que se obtienen por proyección, de los cuerpos tridimensionales en observación. 4- Conocimiento elemental sobre las normas de representación, aplicable a dibujos de ingeniería. Por otra parte, se debe contar con la habilidad en el manejo de los instrumentos de dibujo para el trazado de construcciones geométricas sencillas y una mínima aproximación al dibujo a mano alzada.

*Instrumental para dibujo manual.* Equipo necesario: Dos Portaminas 0.5 (mina HB y 2B), regla graduada, goma de borrar. Descarga (en los móviles y/o en los ordenadores) de la aplicación gratuita Augment. Equipo accesorio: Lápices de colores, sacapuntas, escuadra y cartabón sin biseles, compás, cinta adhesiva sin residuo, libreta de dibujo A5 sin espiral, hojas cuadriculadas, blancas y carpeta A4.

*Instrumental para dibujo digital.* Equipo necesario: El AutoCAD y el SolidWorks, estarán instalados en las aulas de prácticas y de libre acceso. La UPC cuenta con la licencia que incluye copias para la instalación de los programas en los ordenadores de los alumnos.

*Metodología Docente:* El procedimiento se centra en la práctica de la Visualización desde las piezas, sus propiedades geométricas y/o los dibujos en 2D con datos que provean las profesoras. Se proponen dos bloques, según dos entornos diferenciados, el dibujo manual y el dibujo digital, ambos desarrollados a lo largo de cuatro módulos: 1- Visualización de piezas LEGO y su dibujo a mano alzada; 2- Visualización con Augment y su dibujo a mano con apoyo de instrumentos; 3- Visualización con la introducción del dibujo en AutoCAD y 4- Visualización con la modelización tridimensional de la pieza en SolidWorks (Farrerons Vidal, 2022). Los ejercicios, pensados para realizarse bajo la guía de las profesoras, están diseñados de manera que el aprendizaje sea un proceso acumulativo donde se puedan entender y experimentar las diferencias entre las posibilidades que ofrece cada entorno de representación.

*Ejercicios de clase.* Se busca que, a través de la construcción de figuras sencillas, de geometría ortogonal, los estudiantes puedan observar una determinada pieza y entender su configuración para después plasmarla en un dibujo. Se trata de educar la vista para saber traducir una figura en 3D en un dibujo en 2D con el lenguaje propio de los diferentes sistemas de representación. Se proponen ejercicios guiados durante las tres horas de cada sesión que serán comentados, revisados y corregidos en el transcurso de la propia clase.

1- Croquización a mano alzada: Croquización de vistas diédricas a partir de construcciones sencillas de piezas LEGO. Pieza 1 (3 Vista) (1 Isometría). 2- Croquización con apoyo de instrumentos: Croquización de vistas diédricas a partir de modelos representados en Realidad Aumentada. Pieza 2. (3 Vista) (1 Isometría). 3- Dibujo con instrumentos de delineación por ordenador: AutoCAD. Pieza 3a. 4- Dibujo con instrumentos de delineación por ordenador: Solidworks. Pieza 3b. Ejercicios de autoaprendizaje. Igualmente, se proponen ejercicios de práctica autónoma que serán comentados, revisados y corregidos en el transcurso de la clase posterior a su encargo.

*Disciplina entre estrategia y ejecución. Marco metodológico por módulo/ejercicio para facilitar la práctica en un entorno con posibilidades mixtas de representación técnica.* A continuación se presentan los ejercicios estudiados para las sesiones presenciales del taller práctico intensivo desde el entendimiento del método como la clave conceptual que permite ‘enseñarlos y aprenderlos’; así, de este modo, favorecer la selección consciente de la vía más idónea o de la combinatoria más adecuada para conseguir un avance eficaz en las etapas del proceso de proyecto de diseño en ingeniería. Igualmente, la comprensión de ciertos atributos por entorno, garantiza la claridad esperada en la comunicación gráfica del resultado. Cada ejercicio de práctica se propone presentarlo al alumnado desde el **Instrumental didáctico** que se les proporciona para agilizar la aproximación inicial, el **Enunciado** que se les pide desarrollar y sobre el que han de reflexionar y, por último, se da guía preliminar de base conceptual para generar una disciplina de planteamiento entre **Estrategia y Ejecución** (Plumed & Gómez-Fabra, 2016) evitando el seguimiento automático de un listado de pasos sin comprender los fundamentos de orden y de geometría que los vincula para el diseño. En este sentido, tenemos:

1- Visualización - Dibujo Manual - Croquis. A partir de piezas LEGO: **Instrumental didáctico:** Maqueta de sistema diédrico, piezas LEGO. Papel cuadriculado A4, portaminas. **Enunciado:** Visualizar pieza modular y dibujar a mano alzada las vistas de planta, alzado y perfil. **Estrategia:** Paralelo, perpendicular, múltiplos y divisores. **Ejecución:** Agrupa, encaja,

2- Visualización - Dibujo Manual - Trazado con instrumentos básicos. A partir de Augment: **Instrumental didáctico:** Modelo tridimensional en Realidad Aumentada (Aplicación Augment). Papel blanco A4, portaminas e instrumentos básicos de dibujo. **Enunciado:** Visualizar los modelos en Augment y dibujar con el apoyo de instrumentos de dibujo las vistas de planta, alzado y perfil. **Estrategia:** Posicionado,

exploración, geometría. **Ejecución:** Croquis, patrón, encaje y vistas ortogonales.

3- Visualización - Dibujo digital - Programa AutoCAD (Proyectar): **Instrumental didáctico:** Vistas en dos dimensiones acotadas. **Instrumentos hábiles mediante relaciones geométricas.** **Herramientas propias para el dibujo en AutoCAD:** de precisión, de creación de objetos 2D y de modificación de objetos 2D. Unidad de longitud. **Enunciado:** Dibujar la planta de la pieza. **Estrategia:** Definir parámetros y posición. Verificación geométrica. **Ejecución:** Dibujo según vínculos de geometría. Apoyo en construcciones auxiliares.

4- Visualización - Dibujo digital - Programa SolidWorks (Modelar, Proyectar). **Instrumental didáctico:** Vistas en dos dimensiones acotadas. **Instrumentos hábiles mediante relaciones geométricas.** **Condiciones específicas de SolidWorks:** Punto de inicio, generalmente relacionado con la pieza de dibujo. Planos de trabajo: *Front Plane*, *Top Plane*, and *Right Plane*. Estado de la geometría del croquis: Fully Defined. Interrelación geométrica. **Herramientas propias para el dibujo en SolidWorks:** de precisión, de creación de objetos 2D (pestaña *Sketch*) y de modificación de objetos (pestaña *Features*). **Enunciado:** Modelar la pieza y obtener las vistas. **Estrategia:** Posicionado y modelado de base. **Ejecución:** Suma y resta de elementos.

El marco metodológico por módulo/ejercicio planteado para el segundo bloque de desarrollo en el entorno digital, pone de manifiesto una secuencia de consideraciones, presentada en una comparativa de síntesis útil en la práctica de 'Visualización' desde los medios informáticos:

*Dibujo CAD. AutoCAD. 2D geométrico:* Posibilita el dibujo en dos dimensiones con instrumental digital, aunque ello implica emplear numerosas herramientas de dibujo propias del programa. La introducción de la información se hace mediante los comandos de



creación de objetos según las coordenadas. El dibujo de líneas se realiza según la voluntad del dibujante, existen múltiples opciones. Los atributos del trazo se pueden volver a definir tantas veces como se quiera, incluso después de que la línea ya ha sido trazada. El uso del programa elimina las construcciones geométricas auxiliares. El resultado es reutilizable, condición que mejora la velocidad y precisión respecto al trazado a mano alzada o con instrumentos tradicionales de dibujo. Se ha de considerar que, de no conservarse las relaciones geométricas, se pierde la “intención de diseño”.

*Dibujo CAD. SolidWorks. 2D paramétrico:* Posibilita el dibujo en dos dimensiones con herramientas básicas, interrelacionando la geometría y dimensiones, vínculo que garantiza obtener un elemento tridimensional y sus vistas. En su condición de software paramétrico, la actualización, tanto de la información geométrica como de las multivistas, es automática. Al igual que el AutoCAD, elimina las construcciones geométricas auxiliares. El resultado es reutilizable, el dibujo adquiere esta característica de ‘poder volver sobre lo realizado’ con los progresos que se han conseguido del paso del entorno manual al digital; de origen, el dibujo manual carece de esta condición que optimiza la rapidez y la exactitud. Se ha de considerar que, al conservarse las relaciones geométricas, se resguarda la “intención de diseño”.

### 3. Conclusiones

El interés por la ‘**Implementación de un cuatrimestre cero para la asignatura de Expresión Gráfica en la EEBE y en la FNB de la UPC**’ apunta de modo directo a generar una base coherente de planeamiento y de avance en las etapas del proyecto de ingeniería. Esto, se considera posible a través de la práctica continuada de una serie de pautas que insisten en el ejercicio de la ‘**Visualización**’ en paralelo a la instrucción específica sobre el **Reconocimiento de la Forma, las Relaciones Geométricas y la Representación Gráfica**. Se estudia un nuevo marco metodológico, se busca la conciencia

sobre la estrategia y la ejecución, un patrón común de base geométrica obligatoria entre las posibilidades que ofrece un entorno mixto. Se trabaja sobre los fundamentos de conexión y las relaciones geométricas, evitando el rastreo mecánico de pasos sin el entendimiento del proceder de origen.

A modo general, es necesario considerar una serie de pautas de representación técnica común para los dos entornos, el manual y el digital: Iniciar los dibujos con el planteamiento de los ejes principales de la pieza; continuar por resolver las 'grandes formas' para añadir los detalles posteriormente; utilizar todas las líneas auxiliares necesarias de guía; conservar invariantes las propiedades geométricas (como el paralelismo, la perpendicularidad, la intersección, la tangencia y la proporcionalidad) de la pieza. El trabajo en el sistema multivista obliga a mantener la alineación de las proyecciones claramente perceptible.

En el primer bloque, de dibujo manual, con instrumentos de trazado tradicionales (tanto físicos como incluso alguno virtual, primera propuesta del segundo bloque), se utilizan construcciones geométricas que garantizan que las figuras trazadas cumplan las relaciones deseadas. Por ejemplo, para que un extremo de un segmento coincida con un extremo de otro segmento previamente dibujado, se coloca la regla sobre el punto y se empieza a trazar. En los dibujos técnicos trazados de forma tradicional, solo las restricciones dimensionales y/o cotas son explícitas. En cambio, para la segunda parte del segundo bloque, se observa que con aplicaciones CAD paramétricas, como el SolidWorks, se presentan de modo evidente las relaciones que vinculan los elementos que conforman la figura. Por ejemplo, para que dos extremos de dos segmentos concurren, se añade una restricción de coincidencia entre ambos. En los trazados CAD de tipo paramétrico, todas las restricciones deben hacerse explícitas.

La metodología de dibujo en ambos entornos, manual y digital, se aborda desde la 'Visualización' que garantiza la identificación de la geometría y las dimensiones, como avance de aproximación para definir una estrategia y aplicar su ejecución; resultando el dibujo técnico del modelo y las vistas diédricas. La voluntad de la propuesta de refuerzo se extiende sobre el conocimiento de qué nos aporta el ejercicio en cada entorno, cuáles son las ventajas que los definen y cuándo los podemos utilizar de manera eficiente. Esto, con base en un patrón de reflexión centrado en tácticas de arranque eficaz, adelanto garantizado por la práctica en el reconocimiento de la forma y sus relaciones geométricas.

El progreso del estudio fomenta consolidar las habilidades útiles para el estudiantado de ingeniería en los procesos de proyecto, se apunta con decisión a la adquisición y práctica de la visión espacial como competencia vertebradora de ambos cursos de Expresión Gráfica. La labor de la investigación anima a trabajar sobre la 'Visualización' con antelación a lo planificado actualmente en los contenidos y programas de la asignatura, tanto en la EEBE como en la FNB. Se considera oportuno y avance relevante, tal como se expresó al inicio de la presentación, que el plan de estudios para todas las ingenierías establezca metas precisas en la 'base y métodos' de áreas de especialización como la del diseño y la expresión visual.

## Referencias

- Alves, B., Fernandes, C., & Sánchez, J. (2008). Acceptance of an Augmented Reality system as a visualization tool for Computer-Aided Design classes. *Interactive Educational Multimedia*, 16, 1-8.
- Bertoline, Wiebe, Miller, & Mohle (1999). *Dibujo en ingeniería y comunicación gráfica*. México: McGraw Hill.
- Farkhatdinov, I., & Ryu, J. (2009). Development of Educational System for Automotive Engineering. *Proceedings of the ICEE and ICEER 2009 International Conference on Engineering Education & Research*.

- Farrerons Vidal, O. (2022). Projectes d'Enginyeria Gràfica en SolidWorks a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est. En: *IV Jornada de Recerca Enginyeria Gràfica i de Disseny UPC. Research and Technology in Graphic Engineering and Design at the Universitat Politècnica de Catalunya*, 1-8. Barcelona: OmniaScience. <http://hdl.handle.net/2117/364816>
- Ivanova, M., & Ivanov, G. (2011). Enhancement of Learning and Teaching in Computer Graphics Through Marker Augmented Reality Technology. *International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA)*, 1, 176-184.
- Kipper, G., & Rampolla, J. (2012). *Augmented Reality*. Amsterdam: Elsevier.
- Mohamad , G. M. H., & Alfuraih, M. (2019). Design Automotive Components by CAD Software; AutoCAD and SolidWorks; a Comparative Study. *Journal of Engineering Research and Application*, 9 (5 Series V), 13-20.
- Olmedo Torre, N., Peña Carrera, M., & Balta Salvador, R. (2021). Experiencias de aprendizaje activo en ingeniería gráfica. En: *Research and Technology in Graphic Engineering and Design at the Universitat Politècnica de Catalunya*, 2, 37-48. Barcelona: OmniaScience. ISBN 978-84-122028-8-5.
- Pérez-Belis, V., Bayarri-Porcar, V., Jarque-Bou, N., Piquer Vicent, A., González Lluch, C., & Núñez García , M. (2020). Analysis of augmented reality's influence on regular systems taught in technical graphics subjects. In I. Academy (Ed.), *13th International Conference of Education, Research and Innovation*, 3993-4001. Online Conference: ICERI2020 Proceedings. <https://doi.org/10.21125/iceri.2020.0899>
- Piñón, H. (2007). Representación, reconocimiento y reconstrucción. En: *La Arquitectura como material de proyecto*. [https://helio-pinon.org/escritos\\_y\\_conferencias](https://helio-pinon.org/escritos_y_conferencias)
- Plumed, R., Gómez-Fabra, M. (2016). *Apuntes de Expresión Gráfica*. Castelló de la Plana: Universitat Jaume I. 2016. ISBN 978-84-16356-53-9. <https://doi.org/10.6035/Sapientia112>
- Sorby, S., & Lieu, D. (2008). *Visualization, Modeling, and Graphics for Engineering Design*. ISBN-10: 1305119495; ISBN-13: 9781305119499.

---

# Breve estado del arte de la celulosa bacteriana y sus aplicaciones

---

**Geraldine Durango Giraldo, Cristina Valls, M. Blanca Roncero**

CELBIOTECH\_Paper Engineering Research Group, EPSEVG,  
Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## Resumen

La celulosa es un biopolímero, el cual constituye la pared celular de las plantas, junto con la lignina y la hemicelulosa. La celulosa también puede ser producida por microorganismo, tales como bacterias. Esta celulosa, conocida comúnmente como celulosa bacteriana (BC por sus siglas en inglés), se produce por la fermentación del medio en el que se encuentren las bacterias. Este material, presenta propiedades físicoquímicas importantes que lo hacen promisorio para diversas aplicaciones en diversos ámbitos como lo son la industria biomédica, industria alimentaria, tratamiento de aguas residuales, biocompuestos, entre otros. En la superficie de la celulosa bacteriana abundan los grupos hidroxilo, lo cual facilita su modificación con diferentes materiales u otros grupos funcionales, con el fin de ampliar su uso en diferentes campos de aplicación. En este trabajo, se mostrarán brevemente, los factores que influyen en la producción de celulosa bacteriana, como puede ser modificada con diferentes materiales y los resultados de algunas investigaciones, donde ha sido utilizada la celulosa bacteriana para diferentes aplicaciones.

## Abstract

Cellulose is a biopolymer that forms the cell wall of plants, along with lignin and hemicellulose. Cellulose can also be produced by microorganisms, such as bacteria. This cellulose, commonly known as bacterial cellulose (BC), is generated through the fermentation of the medium in which the bacteria are located. This material exhibits important physicochemical properties that make it promising for various applications in diverse fields, such as the biomedical industry, food industry, wastewater treatment, biocomposites, among others. The surface of bacterial cellulose is rich in hydroxyl groups, facilitating its modification with different materials or other functional groups, aiming to expand its use in various application areas. This work will briefly showcase

the factors influencing bacterial cellulose production, how it can be modified with different materials, and the results of some studies where bacterial cellulose has been used for various applications.

## 1. Celulosa bacteriana

La celulosa es un biopolímero, el cual constituye la pared celular de las plantas, junto con la lignina y la hemicelulosa. Químicamente, es un homopolisacárido lineal compuesto por unidades de  $\beta$ -D-glucopiranosas que permanecen unidas por enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4 (Lahiri, Nag, Dutta, Dey, Sarkar, Pati et al., 2021). La celulosa también puede ser producida por microorganismo, tales como bacterias. Esta celulosa, conocida comúnmente como celulosa bacteriana (BC por sus siglas en inglés), se produce por la fermentación del medio en el que se encuentren las bacterias y fue descubierta por Brown en 1886, cuando observó la formación de celulosa a partir de la bacteria *Acetobacter xylinum* (Qian, Liu, Wang, Pei, Fu, Ma & Huang, 2023). Se considera una fuente pura, debido a que no hay presencia de lignina ni hemicelulosa en ella. Este material, presenta propiedades fisicoquímicas importantes que lo hacen promisorio para diversas aplicaciones en diversos ámbitos como lo son la industria biomédica, industria alimentaria, tratamiento de aguas residuales, biocompuestos, entre otros.

La BC cuenta con una estructura similar a la de la celulosa convencional, los cuales son polímeros naturales compuestos de muchos enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4 ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>. Cada subunidad de hidrógeno está anclada a un monómero de glucosa vecino en la cadena para formar las fibras de celulosa mediante enlaces de hidrógeno y fuerzas de van der Waals (Qian et al., 2023). En la superficie de la celulosa bacteriana abundan los grupos hidroxilo, lo cual facilita su modificación con diferentes materiales u otros grupos funcionales, con el fin de ampliar su uso en diferentes campos de aplicación.

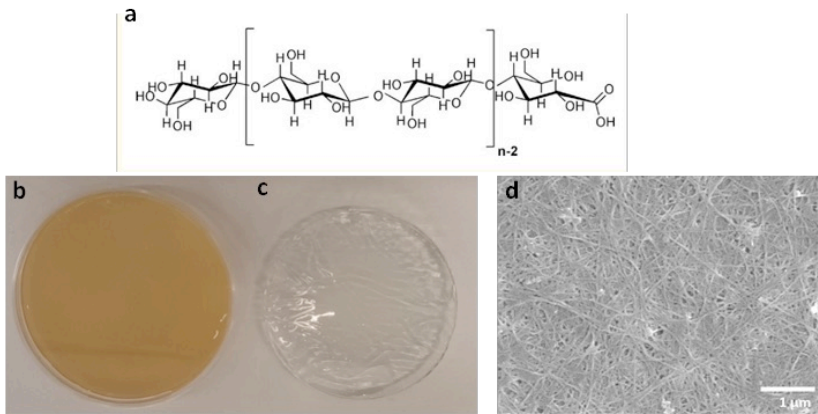


Figura 1. a) estructura química de la BC (Tomada de (Shrivastav, Parmanik, Abdelgawad, Ghoneim, Singh, Abualsoud et al., 2022)), b) BC en crecimiento, c) BC lavada y purificada, d) micrografía SEM de una membrana de BC.

En la figura 1, se muestra la estructura química de la BC, su crecimiento y su estructura fibrilar.

## 2. Producción de celulosa bacteriana

Existen diferentes especies bacterianas que tienen la capacidad de fermentar su medio de crecimiento y así producir celulosa. Generalmente, estas bacterias suelen ser Gram-negativas, siendo la más conocida la *Komagataeibacter* (anteriormente llamada *Gluconacetobacter*) *xylinus*, sin embargo, existen otras especies que pueden hacerlo, tales como *Aerobacter*, *Gluconacterter*, *Gluconobacter*, *Alcaligenes*, *Salmonella* y *Pseudomonas*, entre otras. Se ha reportado que el rendimiento de BC depende principalmente de la disponibilidad y calidad de las fuentes de carbono en el medio de producción (Fernandes, Pedro, Ribeiro, Bortolini, Ozaki, Maciel et al., 2020), sin embargo, dentro de los parámetros más importantes para el crecimiento de la BC se encuentra el nivel de oxígeno, la temperatura, el pH y los medios de cultivo. A continuación, se describe cada uno de ellos.

## **2.1 Nivel de oxígeno**

Debido a la naturaleza aeróbica de las bacterias capaces de producir celulosa, es necesario un constante suministro de oxígeno dentro de los medios dado que éste es fundamental para el metabolismo de las células (Lahiri et al., 2021).

## **2.2 Medios de cultivo**

Uno de los medios más comunes de cultivo es el medio Hesting-schramm (HS), el cual incluye una serie de nutrientes tales como extracto de levadura, glucosa, peptona, fosfato disódico y ácido cítrico (Costa, Almeida, Vinhas & Sarubbo, 2017).

## **2.3. Temperatura**

Se ha reportado que el rango de temperatura óptimo para el crecimiento de la BC está entre 25 y 30 °C. Sin embargo, esto varía según la especie de bacteria empleada. Es importante resaltar que las temperaturas altas pueden causar la desnaturalización de los componentes del medio de cultivo, mientras que temperaturas bajas ralentizan el metabolismo de las células (Lahiri et al., 2021).

## **2.4. pH**

se ha demostrado que un pH ácido o casi neutro (4-6) es el óptimo para la producción de BC. Aunque también se ha reportado que algunas cepas bacterianas requieren pH hasta de 7.5 para un óptimo crecimiento (Lahiri et al., 2021).

## **3. Morfologías de la celulosa bacteriana**

La celulosa bacteriana puede obtenerse con diferentes morfologías y esto puede controlarse mediante el método de cultivo. El método más común de crecimiento es el cultivo en estático, donde se generan películas de BC del diámetro y forma del recipiente que contenga las bacterias y su respectivo medio de crecimiento. Por otra parte,



también se puede producir BC empleando el método de crecimiento dinámico, mediante el cual se obtiene celulosa bacteriana con forma de pellets (esférica). Aquí, es importante controlar la velocidad de agitación del medio, debido a que, una velocidad demasiado baja, puede formarse una gran masa solida de BC, mientras que, a velocidades muy altas, se puede formar BC de formas irregulares. Se ha reportado que una velocidad optima de agitación para obtener esferas de BC, está entre 130 y 150 rpm (Lahiri et al., 2021). En la figura 2, se pueden observar las morfologías de BC obtenidas mediante diferentes tipos de cultivo.

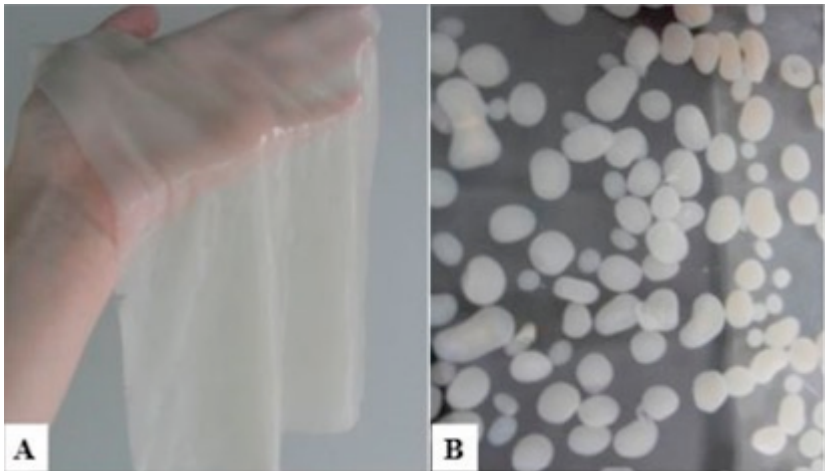


Figura 2. a) BC obtenida en cultivo estático, b) BC obtenida en cultivo dinámico (Revin, Liyaskina, Parchaykina, Kuzmenko, Kurgaeva, Revin et al., 2022).

#### 4. Modificación de celulosa bacteriana

Como se mencionó previamente, en la superficie de la celulosa bacteriana se encuentra una gran cantidad de grupos hidroxilo (-OH). Estos grupos funcionales permiten que la BC pueda ser modificada por diferentes métodos físicos o químicos, con el fin de introducir nuevos grupos funcionales o materiales en su superficie y que, de

esta manera, pueda ser empleada en múltiples aplicaciones. Esta modificación de la celulosa se puede realizar en los diferentes estadios de formación de la BC.

#### **4.1 Método Ex situ**

Mediante este método, membranas o hidrogeles de celulosa bacteriana pueden ser modificadas después de haber sido conformadas. Este método es comúnmente usado cuando por algún motivo el material que se quiere incluir o la modificación que se quiere realizar a la BC, impide un normal crecimiento de la membrana, por lo tanto, debe hacerse después de obtener dicho material (Pan, Li, Ma, Ma & Gao, 2023).

#### **4.2 Método In situ**

este método consiste en incluir el material o reactivo de modificación en el medio de crecimiento de la BC. Es importante mencionar que no todos los materiales pueden ser incluidos en el medio de crecimiento, por ejemplo, materiales antibacterianos, por poseer esta propiedad, no son acordes para la modificación in situ. Adicionalmente, la inclusión de agentes externos en el medio de crecimiento puede ralentizar o detener el crecimiento de la BC (Pan et al., 2023).

### **5. Aplicaciones de la celulosa bacteriana**

#### **5.1 Biomédica**

BC se ha utilizado como matriz de diferentes compuestos para diversas aplicaciones biomédicas, como la regeneración ósea, el tratamiento de quemaduras, andamios, material antibacteriano, entre otros (Wahid, Huang, Zhao, Li, Wang, Jia et al., 2021). Para conferir la propiedad antibacteriana a la BC, se ha estudiado su modificación con materiales que poseen esta propiedad. Además, es importante destacar que, para aplicaciones biomédicas, los materiales con los que posiblemente se modifique la BC deben ser biocompatibles y no

tóxicos. En ese sentido, (UI-Islam, Alhajaim, Fatima, Yasir, Kamal, Abbas et al., 2023) estudió las propiedades antibacterianas de un compuesto de BC/cáscara de granada. Inicialmente, utilizando el método de Soxhlet, obtuvieron el extracto de las cáscaras de granada, la membrana de BC se obtuvo utilizando la cepa bacteriana *G. hansenii* en el medio de Hestrin-Schramm (HS) y realizaron la modificación ex situ de la membrana, preparando previamente una solución al 20 % en peso del extracto de cáscara de granada obtenido. Determinaron la capacidad antibacteriana de este compuesto y encontraron buenos resultados contra cepas de *S. aureus* y *E. coli*, mostrando una mayor actividad antibacteriana contra *S. aureus*. Así mismo, (Zeng, Yang, Tong & Zhao, 2023) modificó la BC con nanopartículas de plata sintetizadas in situ mediante reducción térmica, evitando así el uso de agentes reductores que contaminan el medio ambiente. Obtuvieron partículas de aproximadamente 25.2 nm. Este material mostró una fuerte actividad antibacteriana contra *S. aureus* y *E. coli*.

## **5.2 Empaque de alimentos**

Las industrias responsables del empaque de productos alimenticios se han convertido en uno de los mayores productores de residuos plásticos en los últimos años (Jabłońska, Onyszko, Konopacki, Augustyniak, Rakoczy & Mijowska, 2021). Por lo tanto, se están estudiando diversos materiales alternativos que cumplan con los requisitos y propiedades fisicoquímicas para su uso en esta industria y, además, sean biodegradables y, en algunos casos, incluso comestibles. En este sentido, (Liao, Liu, Zhao, Lu, Feng & Sun, 2023) probó las propiedades antibacterianas y de conservación de alimentos de películas de BC modificadas con quitosano y  $\epsilon$ -polilisina. Inicialmente, la BC fue oxidada con periodato de sodio ( $\text{NaIO}_4$ ) y posteriormente modificada con diferentes concentraciones de los materiales mencionados anteriormente. Las pruebas antibacterianas se realizaron contra *E. coli* y *S. aureus*, mientras que la tilapia fue el alimento elegido para las pruebas de conservación de alimentos.

Descubrieron que la actividad antibacteriana de las películas contra *S. aureus* y *E. coli* mejoró significativamente con el aumento del contenido de  $\epsilon$ -polilisina. Además, encontraron que el material prolonga la vida útil de la tilapia, por lo que podría ser una alternativa prometedora para el envasado de alimentos. Asimismo, (Zhou, Fu, Bian, Chang & Zhang, 2022) formó una película natural de curdlano y agregó celulosa bacteriana y aceite esencial de canela. Probaron sus propiedades fisicoquímicas y antibacterianas para su uso en la producción de envases de alimentos. Además, se probó la conservación de pollo refrigerado. Descubrieron que la adición de BC a curdlano mejoró la cristalinidad y la estabilidad térmica de las películas, pero se redujo la permeabilidad al vapor de agua, el contenido de humedad y la luminosidad. Además, la adición de aceite esencial de canela dio a las películas una buena capacidad antioxidante, que podría frenar eficazmente la oxidación lipídica cuando el pollo se almacenaba a 4 °C.

### **5.3. Tratamiento de aguas residuales**

#### **5.3.1 Degradación de colorantes**

Varios autores han estudiado el uso de la celulosa bacteriana para la eliminación de diferentes colorantes presentes en aguas residuales. Para este propósito, la celulosa bacteriana puede o no ser modificada. Leal, De Lima, Azevedo, Santos, Zaidan, De Lima et al. (2021) utilizaron membranas de BC no modificadas para la adsorción del colorante Remazol Black B. En este estudio, se probaron diferentes pH y temperaturas de reacción. Los resultados mostraron un mayor porcentaje de adsorción (92 %) a pH 3.5 y concluyeron que la adsorción de BC aumenta con el aumento de la temperatura. Por otro lado, Brandes, Trindale, Vanin, Vargas, Carminatti, Al-Oureshi et al. (2018) evaluaron la actividad fotocatalítica de esferas de celulosa bacteriana modificadas con  $\text{TiO}_2$  mediante dos técnicas diferentes (ex situ e in situ) a través de la degradación de azul de metileno bajo la influencia de la luz. Obtuvieron una degradación del colorante

después de 35 minutos y bajo la influencia de la luz del 89.58 % y del 70.83 % para las muestras preparadas por el método *ex situ* e *in situ*, respectivamente. La diferencia en la degradación del colorante entre ambas técnicas de modificación puede asociarse con una mejor distribución de las partículas agregadas en la BC mediante el método *ex situ*, lo que mejora su rendimiento.

### **5.3.2 Separación agua/aceite**

La separación de emulsiones también ha sido un foco de estudio para posibles aplicaciones de la celulosa bacteriana. Wahid, Zhao, Cui, Wang, Wang, Jia et al. (2022) fabricaron una membrana de celulosa bacteriana modificada con  $\text{TiO}_2$  y  $\text{ZnO}$  para la separación agua/aceite y obtuvieron eficiencias de hasta el 99.25 %. Además, estudiaron el efecto antibacteriano de los compuestos y encontraron que las membranas de BC y  $\text{BC/TiO}_2$  no mostraron actividad antibacteriana, mientras que los compuestos también preparados con  $\text{ZnO}$  sí mostraron actividad antibacteriana a medida que aumentaba la concentración de  $\text{ZnO}$  en las membranas. Además, Than-ardna, Weder y Manuspiva (2023) prepararon membranas de BC modificadas con  $\text{SiO}_2$  mediante la síntesis *in situ* de las nanopartículas, variando diferentes parámetros como el tiempo de inmersión, la relación entre reactivos, el tiempo de reacción, entre otros.

## **6. Conclusión**

La celulosa bacteriana ha demostrado ser un material versátil y prometedor en diversas aplicaciones, abordando desafíos ambientales y ofreciendo soluciones innovadoras. Su capacidad para adsorber colorantes en aguas residuales, mejorar la eficiencia de separación agua/aceite y actuar como matriz para compuestos antimicrobianos subraya su utilidad en el tratamiento de efluentes y la purificación de agua. Además, la integración de la celulosa bacteriana en películas y recubrimientos biodegradables destaca su potencial en envases sostenibles y aplicaciones biomédicas. Por otra parte, es crucial abordar desafíos como la optimización de procesos de

producción y la mejora de propiedades específicas para impulsar aún más su adopción en diversos sectores.

## Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto PID2020-114070RB-I00 (CELLECOPROD), fundado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. La autora principal, G. Durango, agradece a la Universitat Politècnica de Catalunya la financiación de su tesis doctoral mediante la beca FPU-UPC. Los autores también quieren agradecer al grupo de consolidación AGAUR 2021 SGR 00852.

## Referencias

- Brandes, R., Trindade, E. C. A., Vanin, D. F., Vargas, V. M. M., Carminatti, C. A., Al-Qureshi, H. A. et al. (2018). Spherical Bacterial Cellulose/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite with Potential Application in Contaminants Removal from Wastewater by Photocatalysis. *Fibers and Polymers*, 19(9), 1861-1868. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7798-7>
- Costa, A. F. S., Almeida, F. C. G., Vinhas, G. M., & Sarubbo, L. A. (2017). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* using corn steep liquor as nutrient sources. *Frontiers in Microbiology*, 8(OCT). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02027>
- Fernandes, I. de A. A., Pedro, A. C., Ribeiro, V. R., Bortolini, D. G., Ozaki, M. S. C., Maciel, G. M. et al. (2020). Bacterial cellulose: From production optimization to new applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 2598-2611). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.255>
- Jabłońska, J., Onyszko, M., Konopacki, M., Augustyniak, A., Rakoczy, R., & Mijowska, E. (2021). Fabrication of paper sheets coatings based on chitosan/bacterial nanocellulose/zno with enhanced antibacterial and mechanical properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14). <https://doi.org/10.3390/ijms22147383>
- Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Dey, A., Sarkar, T., Pati, S. et al. (2021). Bacterial cellulose: Production, characterization and application as antimicrobial agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms222312984>

- Leal, A. N. R., De Lima, A. da C. A., Azevedo, M. G. F. dos A., Santos, D. K. D. do N., Zaidan, L. E. M. C., De Lima, V. F. et al. (2021). Removal of Remazol Black B dye using bacterial cellulose as an adsorbent. *Scientia Plena*, 17(3). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.034201>
- Liao, W., Liu, X., Zhao, Q., Lu, Z., Feng, A., & Sun, X. (2023). Physicochemical, antibacterial and food preservation properties of active packaging films based on chitosan/ $\epsilon$ -polylysine-grafted bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127231>
- Pan, X., Li, J., Ma, N., Ma, X., & Gao, M. (2023). Bacterial cellulose hydrogel for sensors. *Chemical Engineering Journal*, 461. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142062>
- Qian, H., Liu, J., Wang, X., Pei, W., Fu, C., Ma, M. et al. (2023). The state-of-the-art application of functional bacterial cellulose-based materials in biomedical fields. *Carbohydrate Polymers*, 300. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120252>
- Revin, V. V., Liyaskina, E. V., Parchaykina, M. V., Kuzmenko, T. P., Kurgaeva, I. V., Revin, V. D. et al. (2022). Bacterial Cellulose-Based Polymer Nanocomposites: A Review. *Polymers*, 14(21). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14214670>
- Shrivastav, P., Pramanik, S., Vaidya, G., Abdelgawad, M. A., Ghoneim, M. M., Singh, A. et al. (2022). Bacterial cellulose as a potential biopolymer in biomedical applications: a state-of-the-art review. *Journal of Materials Chemistry B*, 10(17), 3199-3241. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d1tb02709c>
- Than-ardna, B., Weder, C., & Manuspiya, H. (2023). Superhydrophilic bacterial cellulose membranes efficiently separate oil-in-water emulsions. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08278-w>
- Ul-Islam, M., Alhajaim, W., Fatima, A., Yasir, S., Kamal, T., Abbas, Y. et al. (2023). Development of low-cost bacterial cellulose-pomegranate peel extract-based antibacterial composite for potential biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123269>
- Wahid, F., Huang, L. H., Zhao, X. Q., Li, W. C., Wang, Y. Y., Jia, S. R. et al. (2021). Bacterial cellulose and its potential for biomedical applications. *Biotechnology Advances*, 53. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107856>
- Wahid, F., Zhao, X. Q., Cui, J. X., Wang, Y. Y., Wang, F. P., Jia, S. R. et al. (2022). Fabrication of bacterial cellulose with TiO<sub>2</sub>-ZnO nanocomposites as a multifunctional membrane for water remediation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 620, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.03.108>

- Zeng, A., Yang, R., Tong, Y., & Zhao, W. (2023). Functional bacterial cellulose nanofibrils with silver nanoparticles and its antibacterial application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123739>
- Zhou, L., Fu, J., Bian, L., Chang, T., & Zhang, C. (2022). Preparation of a novel curdlan/bacterial cellulose/cinnamon essential oil blending film for food packaging application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.137>



---

# Un enfoque innovador basado en inteligencia artificial para la detección automática de incendios forestales

---

**Ismail El-Madafri, Noelia Olmedo-Torre**

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

## Resumen

En una era donde el cambio climático exacerba la frecuencia y severidad de los incendios forestales, avanzar en los métodos de detección temprana es crítico para la preservación de los ecosistemas y la seguridad de las comunidades. Esta comunicación trata de un estudio que introduce un enfoque novedoso basado en técnicas de Inteligencia Artificial (AI) para la detección automática de incendios forestales que emplea un marco de aprendizaje multitarea (MTL), utilizando un conjunto de datos rigurosamente curado de 2700 imágenes Red-Green-Blue (RGB). Estas imágenes capturan una amplia gama de condiciones ambientales, seleccionadas deliberadamente para probar los límites de los sistemas de detección actuales y para minimizar la ocurrencia de falsos positivos. El marco de MTL que hemos desarrollado avanza en la precisión de detección realizando clasificaciones binarias y multiclase en conjunto, distinguiendo efectivamente entre diferentes tipos de incendios y varios elementos confusos. Los análisis comparativos demuestran que el método supera la clasificación binaria tradicional, ofreciendo un rendimiento superior en métricas de exactitud, precisión, sensibilidad, puntaje F1 y ROC-AUC. Esta investigación marca un paso significativo hacia la mejora de la detección temprana de incendios forestales, crucial para mitigar el impacto del cambio climático en los ecosistemas y las comunidades. Los hallazgos abogan por la integración de técnicas avanzadas de aprendizaje profundo en el desarrollo de sistemas de vigilancia de incendios forestales más efectivos.

## 1. Introducción

El impacto creciente del cambio climático ha incrementado la frecuencia y severidad de los incendios forestales, lo que representa un riesgo significativo para los ecosistemas y comunidades, haciendo imprescindibles sistemas de detección temprana eficientes (Wasserman & Mueller, 2023). Dichos sistemas son claves para alcanzar unos Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, especialmente aquellos enfocados en la acción climática (Carta, Zidda, Putzu, Loru, Anedda & Giusto, 2023; Robinne, 2021). La teledetección, utilizando imágenes satelitales y fotografía aérea, es esencial en la recopilación de datos para la gestión de incendios (Mohapatra & Trinh, 2022).

En este ámbito, el aprendizaje profundo (DL) y las redes neuronales convolucionales (CNN) han mejorado significativamente la detección de incendios (LeCun, Bengio & Hinton, 2015; Ghali & Akhloufi, 2023). No obstante, la eficacia de estos modelos depende de la calidad y diversidad de los datos de entrenamiento (Diez, Kentsch, Fukuda, Caceres, Moritake & Cabezas, 2021). La variabilidad de los entornos donde ocurren los incendios plantea desafíos únicos para los modelos de DL, que deben ser entrenados con datos representativos para reconocer efectivamente entre situaciones benignas y peligrosas y al mismo tiempo evitar falsas alarmas o detecciones erróneas (Saleh, Zulkifley, Harun, Gaudreault, Davison & Spraggon, 2024). Para esto, se han propuesto enfoques multimodal que utilizan varios modos de datos como RGB, térmicos, hiperespectrales, tecnología láser infrarroja y datos meteorológicos para una detección robusta utilizando DL (Allison, Johnston, Craig & Jennings, 2016). Sin embargo, los datos RGB son fundamentales para los sistemas de alerta temprana de incendios forestales, a pesar de sus limitaciones, debido a su disponibilidad y facilidad de interpretación humana (Diez et al., 2021).

Este estudio introduce el 'wildfire dataset' (El-Madafri, Peña & Olmedo-Torre, 2023), un conjunto de imágenes RGB que sirve como

referencia para la investigación futura en detección de incendios forestales. Además, se ha desarrollado un enfoque innovador de aprendizaje multitarea (MTL) para mejorar el rendimiento del modelo mediante la clasificación binaria y multiclase de diversos tipos de fuego y elementos confusos (El-Madafri, 2023; Selvaraju, Cogswell, Das, Vedantam, Parikh & Batra, 2017). Este método dual mejora la capacidad del modelo para reducir las tasas de falsos positivos y se ha validado su eficacia a través de técnicas de visualización de características como Grad-CAM (Selvaraju et al., 2017)

## **2. Metodología**

Este trabajo adopta una metodología multifacética para mejorar la detección de incendios forestales utilizando modelos de aprendizaje profundo. El desarrollo de un conjunto de datos completo y la aplicación de un novedoso marco de aprendizaje multitarea (MTL) son centrales en este enfoque.

### **2.1. Creación del Conjunto de Datos**

Curamos un conjunto de datos único y extenso compuesto por 2700 imágenes RGB, que capturan una amplia gama de condiciones ambientales, tipos de bosques y regiones geográficas. Este conjunto de datos está diseñado específicamente para abordar las altas tasas de falsas alarmas en los sistemas de detección de incendios incluyendo escenarios diversos y desafiantes. Las imágenes, obtenidas de dominios públicos, fueron cuidadosamente seleccionadas y anotadas para garantizar representatividad y diversidad.

### **2.2. Marco de Aprendizaje Multitarea**

El núcleo de nuestra metodología es la implementación de un marco de MTL. Esto implica entrenar un solo modelo para realizar dos tareas relacionadas: clasificación binaria (distinguir fuego/humo de no fuego/humo) y clasificación multiclase (identificar diferentes tipos de fuego y elementos confusos). Este enfoque de doble tarea es

innovador en su consideración concurrente de elementos confusos, mejorando la capacidad del modelo para diferenciar distinciones sutiles entre clases.

### **2.3. Formulación de Subclases**

Para abordar los diversos elementos confusos que a menudo conducen a la clasificación errónea en la detección de incendios, categorizamos el conjunto de datos en cinco subclases. Estas incluyen imágenes que muestran humo de incendios, humo y fuego, áreas boscosas sin elementos confusos e imágenes que contienen elementos que pueden ser confundidos con fuego o humo. Esta clasificación ayuda al modelo a identificar con mayor precisión los eventos reales de fuego y a reducir los falsos positivos.

### **2.4. Visualización de Características**

Empleamos técnicas avanzadas de visualización de características, como Grad-CAM, para obtener una comprensión más profunda del proceso de toma de decisiones del modelo. Esta técnica ayuda a identificar las características específicas de las imágenes que el modelo utiliza para hacer sus predicciones.

### **2.5. Análisis Comparativo**

Un aspecto crítico de nuestra metodología es el análisis comparativo realizado para validar la efectividad del marco de MTL frente a los métodos tradicionales. Esta comparación es esencial para demostrar los avances que el enfoque aporta a la detección de incendios forestales.

**Clasificación Binaria Tradicional:** En el enfoque convencional, los modelos se entrenan utilizando un enfoque de clasificación binaria. Aquí, un solo modelo se entrena para clasificar imágenes directamente en dos categorías: aquellas que representan un evento de fuego (que muestran humo y/o fuego) y aquellas que no (todos los

demás escenarios, incluyendo elementos confusos). Este método, aunque directo, a menudo lucha con las sutilezas de diferenciar entre incendios reales y fenómenos de apariencia similar.

**Clasificación Basada en MTL:** En contraste, en el marco de MTL hemos empleado un enfoque más matizado. El modelo no solo se entrena para realizar la clasificación binaria estándar, sino que también clasifica simultáneamente imágenes en una de las cinco subclases distintas. Estas subclases abarcan tanto eventos de fuego/humo como varios elementos confusos, como fenómenos atmosféricos, cambios en la vegetación y objetos visualmente similares. Este enfoque tiene como objetivo refinar la capacidad del modelo para discernir entre eventos de fuego reales y falsas alarmas causadas por factores engañosos.

**Métricas de Rendimiento:** La comparación entre estas dos metodologías se centra en métricas clave de rendimiento como la precisión, exactitud, sensibilidad, puntaje F1, ROC-AUC y la tasa de falsos positivos. Al evaluar estas métricas, podemos evaluar la eficacia del enfoque MTL en la reducción de falsas alarmas y la mejora de la precisión general de detección.

### 3. Resultados

En nuestro estudio, empleamos dos métodos distintos para la detección de incendios forestales utilizando el modelo MobileNetV3: una clasificación convencional de un solo paso (Método 1) y una novedosa clasificación multiclase de dos pasos dentro de un marco de aprendizaje multitarea (MTL) (Método 2). Estos métodos se probaron tanto en los conjuntos de datos originales como en los ampliados de incendios forestales para evaluar el impacto del equilibrio de datos en el rendimiento del modelo.

### 3.1. Evaluación del Equilibrio de Datos

**Método 1:** La comparación entre el Método 1 entrenado con los conjuntos de datos original y ampliado reveló diferencias en el rendimiento en varias métricas.

**Método 2:** El conjunto de datos ampliado con el Método 2 mostró una precisión primaria media de 0.8766, ligeramente inferior a la del conjunto de datos original de 0.9073, con una diferencia significativa dentro de un intervalo de confianza del 95 %. Esto puede sugerir que el método ampliado, aunque tiene menor precisión, proporcionó una mayor sensibilidad, ofreciendo ventajas en la detección de incendios y una mayor robustez frente al desequilibrio de clases.

### 3.2. Análisis Comparativo del Método 1 y Método 2

El análisis comparativo destacó las fortalezas y compensaciones entre los dos enfoques. El Método 2, con su estrategia de clasificación multiclase jerárquica dentro de un marco de aprendizaje multitarea, proporcionó una exploración perspicaz de su eficacia en la detección de incendios forestales en comparación con el enfoque

Métrica	Método 1	Metodo 2
Precisión Primaria (Accuracy)	Media = 0.8156, Std = 0.0152	Media = 0.8766, Std = 0.0147
Precisión	Media = 0.7187, Std = 0.0143	Media = 0.7974, Std = 0.0206
Sensibilidad (Recall)	Media = 0.8667, Std = 0.0108	Media = 0.9171, Std = 0.0273
Puntaje F1 (F1-Score)	Media = 0.7857, Std = 0.0103	Media = 0.8526, Std = 0.0146
Área bajo la curva ROC (ROC-AUC)	Media = 0.8258, Std = 0.0083	Media = 0.8842, Std = 0.0127

Tabla 1. Métricas de rendimiento para el Método 1 y 2 utilizando los conjuntos de datos ampliados de incendios forestales.

convencional del Método 1. Consulte la Tabla 1 para una comparación de los dos métodos.

Estos resultados se basan en cinco ejecuciones para cada modelo, utilizando el método de remuestreo (bootstrapping) para calcular intervalos de confianza del 95 % para las diferencias en las métricas de rendimiento entre los dos métodos.

#### **4. Discusión**

Nuestro estudio (El-Madafri et al., 2023) aborda una brecha crucial en la literatura existente sobre modelos de aprendizaje profundo para la detección de incendios forestales utilizando imágenes RGB. Enfocándose en analizar de manera exhaustiva la representatividad de los datos y los factores que pueden conducir a altas tasas de falsas alarmas, contribuye significativamente al campo. El estudio introduce el 'wildfire dataset', un conjunto de datos que incorpora eficazmente elementos confusos y que se convierte en una herramienta valiosa para la recopilación de datos, anotación y evaluación del rendimiento del modelo.

Un hallazgo clave es la identificación de desafíos y elementos confusos únicos en este conjunto de datos, que podrían no haber sido representados adecuadamente en conjuntos anteriores. Además, el estudio investiga el equilibrio de datos, creando un conjunto de datos aumentado para igualar las clases de fuego y no fuego. La comparación entre los conjuntos de entrenamiento original y aumentado reveló información crucial sobre el impacto del equilibrio de datos en el rendimiento del modelo. Se observó que una mayor precisión en el conjunto original podría ser engañosa debido al sesgo, lo que subraya la necesidad de un enfoque estratégico para el equilibrio de datos.

Otro aspecto significativo es la introducción de un enfoque de aprendizaje multitarea para la detección de incendios forestales, que mejora significativamente el rendimiento en comparación con el

enfoque binario tradicional. Este avance se refleja en todas las métricas clave, incluyendo precisión, exactitud, sensibilidad, puntuación F1 y ROC-AUC.

Finalmente, el estudio abre oportunidades para futuras investigaciones, incluyendo el perfeccionamiento de algoritmos de detección y avances en técnicas de procesamiento de imágenes. El conjunto de datos, con su atención a la variabilidad ambiental y relacionada con las leyendas, proporciona un recurso valioso que podría contribuir al desarrollo de técnicas para mejorar la calidad y robustez de las imágenes (El-Madafri, 2023). La investigación presenta terrenos fértiles para la innovación continua en la detección de incendios forestales, destacando la importancia de adaptar y refinar métodos a medida que surgen nuevos conocimientos, con el objetivo final de desarrollar modelos capaces de aplicaciones sofisticadas en el mundo real y avanzar hacia un enfoque más efectivo y completo para la detección y manejo de incendios forestales.

## Referencias

- Allison, R. S., Johnston, J. M., Craig, G., Jennings, S. (2106). Airborne Optical and Thermal Remote Sensing for Wildfire Detection and Monitoring. *Sensors*, 16, 1310. <https://doi.org/10.3390/s16081310>
- Carta, F., Zidda, C., Putzu, M., Loru, D., Anedda, M., & Giusto, D. (2023). Advancements in Forest Fire Prevention: A Comprehensive Survey. *Sensors*, 23(14), 6635. <https://doi.org/10.3390/s23146635>
- 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 Sens.*, 13, 2837. <https://doi.org/10.3390/rs13142837>
- El-Madafri, I., Peña, M., & Olmedo-Torre, N. (2023). The Wildfire Dataset: Enhancing Deep Learning-Based Forest Fire Detection with a Diverse Evolving Open-Source Dataset Focused on Data Representativeness and a Novel Multi-Task Learning Approach. *Forests*, 14(9),1697. <https://doi.org/10.3390/f14091697>
- El-Madafri I. The wildfire dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/elmadafri/the-wildfire-dataset> (accessed on 10 December 2023).



- Ghali, R., & Akhloofi, M.A. (2023). Deep Learning Approaches for Wildland Fires Remote Sensing: Classification, Detection, and Segmentation. *Remote Sens.*, 15, 1821. <https://doi.org/10.3390/rs15071821>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521, 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Mohapatra, A., & Trinh, T. (2022). Early Wildfire Detection Technologies in Practice Review. *Sustainability*, 14, 12270. <https://doi.org/10.3390/su141912270>
- Robinne, F. N. (2021). Impacts of disasters on forests, in particular forest fires. 1-66. *UNFFS background paper*.
- Saleh, A., Zulkifley, M. A., Harun, H. H., Gaudreault, F., Davison, I., & Spraggon, M. (2024). Forest fire surveillance systems: A review of deep learning methods. *Heliyon*, 10(1), e23127. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23127>
- Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017). Grad CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Venice, Italy, 22–29 October 2017; 618-626.
- Wasserman, T.N., & Mueller, S.E. (2023). Climate influences on future fire severity: a synthesis of climate-fire interactions and impacts on fire regimes, high-severity fire, and forests in the western United States. *Fire Ecol.*, 19, 43. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00200-8>

---

# Canal YouTube: Projectes Expressió Gràfica (SolidWorks)

---

**Oscar Farrerons Vidal**

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

## **Resum**

L'article mostra les característiques d'un canal de YouTube que agrupa en una llista de reproducció 208 vídeos de projectes d'Enginyeria Gràfica des de 2010 fins a l'actualitat. Els vídeos són treballs acadèmics fets pels alumnes de les assignatures d'Expressió Gràfica de l'autor d'aquest article, que s'han anat guardant com a eina expositiva de feina ben feta. El projecte d'Enginyeria Gràfica permet desenvolupar la competència acadèmica de treball autònom, i la visualització dels vídeos pot contribuir en aquesta competència. S'analitza la idiosincràsia del canal, i les dades generals que es poden obtenir de la llista i les específiques que es poden observar, entre les que destaca el número total de visualitzacions, els vídeos amb més èxit, el país i ciutat dels usuaris, així com el seu sexe i edat. També es recullen alguns comentaris dels usuaris. Es conclou que la llista de vídeos ha estat una eina vàlida per facilitar la tasca d'explicar el que es demana en el projecte d'Enginyeria Gràfica en els cursos, si més no ens els cursos impartits per l'autor.

## **Abstract**

The article shows the characteristics of a YouTube channel that groups together in a playlist 208 videos of Graphic Engineering projects from 2010 to the present day. The videos are teaching works made by the students of the Graphic Expression subjects of the author of this article, which have been kept as an expository tool for a job well done. The Graphic Engineering project allows you to develop the academic competence of independent work, and viewing the videos can contribute to this competence. The idiosyncrasy of the channel is analyzed, and the general data that can be obtained from the list and the specifics that can be observed, among which the total number of views, the most successful videos, the country and city of the users stand out, as well as their gender and age. Some user comments are also collected. It

is concluded that the list has been a valid tool to facilitate the task of explaining what is required in the Graphic Engineering Project in the courses where the videos are required.

---

## **1. Les assignatures d'Expressió Gràfica al Pla d'Estudis 2009**

El Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) de la UPC imparteix diferents assignatures a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE). Dues d'elles són específiques de l'enginyeria gràfica: Expressió Gràfica i Ampliació Expressió Gràfica i Disseny Mecànic.

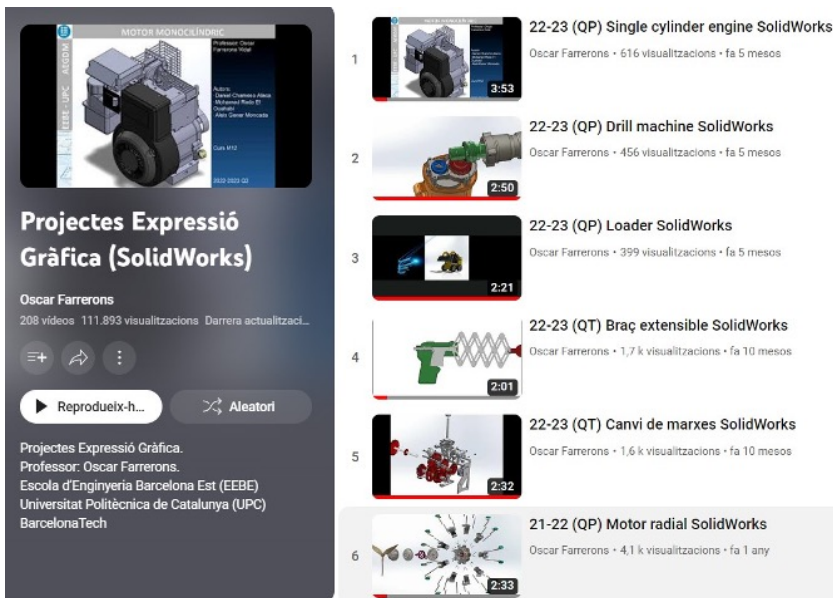
L'assignatura Expressió Gràfica (EG) impartida a l'EEBE forma part del pla d'estudis 2009 que segueixen els 7 graus d'enginyeria de l'escola (Biomèdica, Energia, Elèctrica, Electrònica Industrial i Automàtica, Mecànica, Química, i Materials). És una assignatura troncal que s'imparteix a 750 alumnes, en grups d'un màxim de 32 alumnes, en que cada alumne disposa d'un ordinador. La guia docent de l'assignatura EG incorpora, a més de les competències específiques de la pròpia assignatura, la metodologia, els objectius, el sistema d'avaluació, i la competència transversal assignada a l'assignatura EG, que en aquest cas és "aprenentatge autònom".

En el moment d'adaptar l'antiga assignatura EG que s'estava impartint al nou pla d'estudis 2009, el conjunt de professors que aleshores impartien EG (entre ells l'autor d'aquest article), va crear diferents materials didàctics per implementar l'aprenentatge autònom dins de l'assignatura, a més de formes d'avaluar-la, i entre ells, un va ser la demanda als alumnes que entreguessin un projecte d'Enginyeria Gràfica al final del curs. El projecte ja es feia en el pla anterior, però en el nou pla 2009, queden clares les tasques encomanades, el temps previst, les fonts d'informació, la rúbrica de correcció i les principals pautes marcades pel professorat.

El que signa aquest article, a més de tot el que es demana en el projecte (memòria, plànols, documents SW, etc) va proposar als

alumnes dels seus grups (de manera voluntària) que també entreguessin un vídeo curt amb animació del seu projecte d'Enginyeria Gràfica. Els millors projectes, i les seus vídeos, han estat recollits des de 2010 en el canal de YouTube, propietat d'Oscar Farrerons, "Projectes Expressió Gràfica (SolidWorks)" (Figura 1).

L'assignatura Ampliació Expressió Gràfica i Disseny Mecànic (AEGDM) és una assignatura obligatòria que han de cursar els alumnes d'Enginyeria Mecànica. A l'EEBE aquesta assignatura correspon al 5è quadrimestre. Té una estructura similar a EG, adaptada al temari més desenvolupat, però en que també es treballa l'aprenentatge autònom, i també es desenvolupa un projecte d'Enginyeria Gràfica (amb més contingut que EG, evidentment).



**Projectes Expressió Gràfica (SolidWorks)**  
Oscar Farrerons  
208 vídeos 111.893 visualitzacions Darrera actualizaci...

- 1 22-23 (QP) Single cylinder engine SolidWorks  
Oscar Farrerons • 616 visualitzacions • fa 5 mesos
- 2 22-23 (QP) Drill machine SolidWorks  
Oscar Farrerons • 456 visualitzacions • fa 5 mesos
- 3 22-23 (QP) Loader SolidWorks  
Oscar Farrerons • 399 visualitzacions • fa 5 mesos
- 4 22-23 (QT) Braç extensible SolidWorks  
Oscar Farrerons • 1,7 k visualitzacions • fa 10 mesos
- 5 22-23 (QT) Canvi de marxes SolidWorks  
Oscar Farrerons • 1,6 k visualitzacions • fa 10 mesos
- 6 21-22 (QP) Motor radial SolidWorks  
Oscar Farrerons • 4,1 k visualitzacions • fa 1 any

Figura 1. Llista de reproducció "Projectes Expressió Gràfica (SolidWorks)" (YouTube)

## **2. YouTube “Projectes Expressió Gràfica (Solidworks)”**

En el moment de redactar aquest article (novembre 2023), a la llista de reproducció hi ha allotjats 208 vídeos. És una xifra momentània perquè cada quadrimestre, en acabar les classes i recollir els projectes, el propietari del canal selecciona els millors vídeos dels treballs acadèmics per afegir-los a la llista.

Encara que la llista de vídeos de projectes d'Expressió Gràfica (EG) està allotjada al canal de YouTube “Oscar Farrerons”, en què hi ha vídeos d'altres temàtiques, la principal dedicació del canal és la llista de projectes EG.

Des d'un primer moment, la llista de YouTube va tenir per senzilla finalitat mostrar un recull dels millors projectes, i els seus respectius vídeos, dels alumnes que han realitzat l'assignatura amb el professor que signa aquest article. En cap cas es pot generalitzar la feina de tots els grups i alumnes a partir de la citada llista de reproducció. Tot i aquesta evidència, molt limitada pel número de grups impartits, per les seves característiques, i per molts altres factors, a aquest autor li ha semblat que seria interessant fer un petit estudi estadístic que reculli les dades principals del canal. Si encara us interessa, podeu seguir llegint els propers apartats.

Tots els vídeos de la llista han estat pujats a YouTube amb la indicació “Vídeo NO creat per a nens”, seguint les instruccions obligatòries de YouTube en que cal indicar “Sí” o “No” a la pregunta sobre si ha estat creat per infants. Els vídeos tenen llicència de YouTube estàndard, i en l'apartat en que cal triar (obligatòriament) la categoria del vídeo s'ha escollit “educació”.

## **3. Dades generals del canal**

Com ja s'ha explicat anteriorment, en el moment de creació de la llista de reproducció “Projectes Expressió Gràfica (SolidWorks)” no hi havia cap pretensió estadística, més enllà d'utilitzar-lo com un repositori desinhibit, on poder mostrar els millors resultats d'una part del treball

autònom portat a terme pels alumnes de les assignatures EG en els grups impartits per l'autor. És per això que es va utilitzar un canal particular, on a més d'aquesta llista n'hi ha tres llistes més d'altres temes, que s'obviaran de cara al treball presentat aquí. L'avaluació de la competència d'aprenentatge autònom en els graus d'enginyeria de la UPC també ha estat considerada en altres treballs portats a terme per l'autor, i aquest canal podria afegir més interès en aquest àmbit (Olmedo & Farrerons, 2017).

El canal té, en el moment de redacció d'aquest article, un total de 332 subscriptors, xifra que és variable en el temps, donades altes i baixes que van succeint periòdicament.

Una altre dada que cal matissar és que els vídeos de projectes d'Enginyeria Gràfica que allotja poden ser recollits de l'assignatura EG, de 1r quadrimestre, però també de l'assignatura AEGDM, de 5è quadrimestre, que es van començar a afegir a partir de l'any 2012.

Els vídeos de la llista estan ordenats manualment de manera cronològica descendent, des del 2023 al 2010. El nom del vídeo indica el curs acadèmic, seguit del quadrimestre (QT o QP), i un nom identificatiu del projecte (per exemple "maquina de cosir"). Si hom clica a la informació del vídeo en concret també podrà observar si el projecte ha estat realitzat en l'assignatura EG o AEGDM. El nom dels alumnes autors del projecte es pot veure sempre en el propi vídeo, ja sigui a l'inici o al final en forma de crèdits (no s'ha permès l'entrega de cap vídeo sense identificar).

El propietari del canal YouTube pot accedir a les dades estadístiques del seu canal. En aquest cas podem veure ordenats els vídeos per visualitzacions, per "m'agrada", etc. La següent taula 1 mostra les dades principals dels 5 primers vídeos en número de visualitzacions, amb dades de novembre 2023.

Vídeo	Visualitzacions	Temps visualització (hores)	Impressions
15-16 (QT) Grapadora	60.776	791,3	388.366
12-13 (QT) Ventilador	20.858	268,5	65.294
15-16 (QP) Gat mecànic	10.152	121,3	120.451
16-17 (QT) Banqueta pianista	7.740	98,7	66.060
14-1 (QT) Màquina cosir Sigma	6.636	107,9	88.913

Taula 1. Els 5 vídeos amb més visualitzacions, amb indicacions d'hores de visualització i impressions, acumulat des de 2010. (Font pròpia a partir de dades YouTube).



Figura 2. Distribució en el calendari de les visualitzacions dels principals vídeos, per colors. (YouTube).

És molt interessant també observar que els vídeos amb més visualitzacions no es mantenen sempre en el temps, com es pot veure en la figura 2, en que la mètrica de color blau correspon al vídeo “15-16 (QT) Grapadora”, la verda al “12-13 (QT) Ventilador”, i la taronja a “15-16 (QP) Gat mecànic”.

En la figura 2 també es pot apreciar que a partir de juliol 2022 les visualitzacions dels principals vídeos decauen, el que segurament significa que es distribueixen entre més vídeos diferents. També és una dada lògica si pensem que a mesura que hi ha més vídeos per veure, els més antics queden cada vegada més enrere a la llista.

Les dades generals que ens informa YouTube és que el total de visualitzacions (des de la creació de la llista) suma 276.607 (en el moment de redactar aquest article, novembre 2023), el número d'hores 4.562, i les impressions 1.935.942 (les impressions són el número de vegades que s'han mostrat les miniatures dels vídeos de la llista als usuaris).

Per altra banda, el propietari del canal també pot extreure les estadístiques per períodes de temps concret. Per exemple podem veure els vídeos amb més visualitzacions en el darrer any (des de 27/11/2022 a 27/11/2023), dades que es veuen en la taula 2.

Vídeo	Visualitzacions	Temps visualització (hores)	Duració vídeo (minuts:segons)
21-22 (QP) Motor radial	2.138	78,2	2:33
21-22 (QP) Longboard elèctric	1.867	104,1	3:51
22-23 (QT) Braç extensible	1.771	51,4	2:01
21-22 (QT) Sistema desmodromic	1.735	12,0	0:27
22-23 (QT) Canvi de marxes	1.679	63,5	2:32

Taula 2. Els 5 vídeos amb més visualitzacions, amb indicacions d'hores de visualització, en el període anual 27/11/22 a 27/11/23. (YouTube).

El temps de visualització (mesurat en hores) està clarament lligat amb el número de visualitzacions i el temps de cada vídeo, tal i com es pot veure en la taula número 2, en que hem incorporat la duració de cada un dels vídeos, tot i que el temps de visualització inclou no sols la visualització completa sinó també quan ha estat parcial.

Val a dir que les dades de visualitzacions i temps del vídeos tampoc no són sempre estables, perquè cada cert temps YouTube comprova amb el seu algoritme les visualitzacions que siguin bots i les elimina.



### **3.1. País i ciutat**

El país de procedència per visualitzacions també és una dada molt significativa: 46.7 % Espanya, 4.5 % Mèxic, 1.2 % Brasil, 1.1 % Índia, 0.8 % Indonèsia, i una trentena de països en percentatges més petits. Suposem que els números que falten per arribar al 100 % són visualitzacions sense identificar la procedència.

YouTube també permet agrupar les visualitzacions per ciutat. En el nostre cas, la primera posició és per Barcelona, amb 27.764 visualitzacions, la segona L'Hospitalet de Llobregat amb 283, i la tercera Santa Coloma de Gramenet amb 171. A partir d'aquí segueixen Badalona, Vic, Celrà, Castelldefels, Sant Cugat del Vallès, Gavà, etc, tots en valors baixos. En tot cas tampoc suma el total de visualitzacions (276.607), per alguna limitació estadística, o per falta de identificació.

### **3.2. Sexe**

YouTube ens informa que el 73.6 % de visualitzacions provenen de perfils declarats homes, mentre que la resta, 26.4%, de dones.

### **3.3. Edat**

Respecte a l'edat dels espectadors, hem agafat les dades de la nostra llista de YouTube per configurar la figura 3, en que es pot apreciar que el públic majoritari està comprès entre els 18 i els 24 anys, i en segona opció entre els 25 i els 34, corresponent a l'edat principal dels estudiants d'enginyeria a l'EEBE. Tot i així hi ha un petit repunt en els espectadors entre 55 i 64 anys, que podríem aventurar que es correspon al grup d'edat de professors (de la pròpia EEBE, o d'altres universitats, cosa que no deixa de ser una hipòtesi).

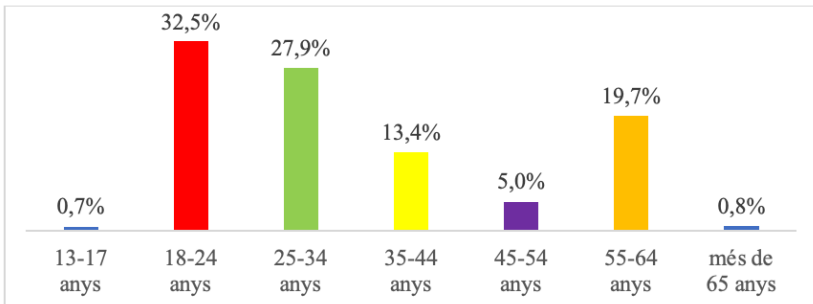


Figura 3. Edat dels espectadors de la llista (YouTube)

### 3.4. Estat de subscripció

El total de 276.607 visualitzacions han estat portades a terme per usuaris subscrits al canal YouTube en un 2.7%, però la gran majoria de les visualitzacions són d'usuaris no subscrits, en un 97.3%.

### 4. Dades específiques de la llista de projecte

Els 208 vídeos de la llista no s'han incorporat d'una manera homogènia durant els diversos cursos, sinó que les condicions dels cursos (i possiblement la qualitat dels vídeos), i perquè no també l'humor del propietari del canal, han influït en el número de vídeos per curs. La figura 4 ens mostra les vídeos adjuntats en cada curs.

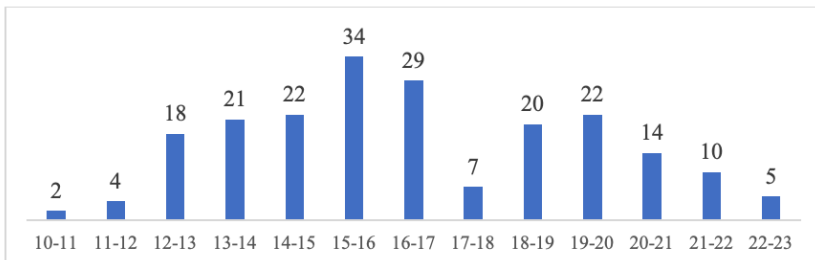


Figura 4. Número de vídeos de la llista segons curs acadèmic.

Aquesta quantitat total de 208 de vídeos que veiem que no està repartida de manera homogènia per cursos, tampoc ho està per quadrimestres, ja que 80 són del quadrimestre de primavera (38 %) i 128 de tardor (62 %). La distribució la podem veure a la figura 5, en que queda clar que quasi sempre hi ha més vídeos corresponents al quadrimestre de tardor.

La majoria dels vídeos dels projectes d'Enginyeria Gràfica són de l'assignatura Ampliació Expressió Gràfica i Disseny Mecànic (AEGDM), en concret 151 (72 %), per sols 57 (28 %) de l'assignatura Expressió Gràfica (EG). Sembla lògic pensar que si el que pretén la llista és mostrar exemples reeixits de projectes d'Enginyeria Gràfica, la majoria d'ells siguin de l'assignatura de cinquè quadrimestre, en

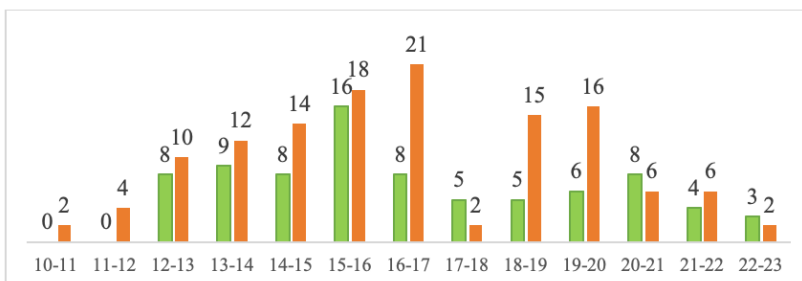


Figura 5. Número de vídeos per quadrimestre i curs. Primavera en verd, Tardor en marró.

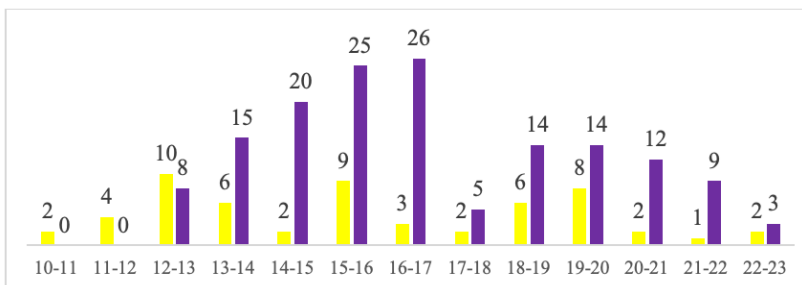


Figura 6. Número de vídeos per assignatura i curs. EG en grog, AEGDM en lila.

que els coneixements dels alumnes són molt més avançats, tant d'Enginyeria Gràfica com de moltes altres disciplines enginyerils. La figura 6 ens mostra la distribució dels vídeos segons assignatura i curs.

El que hem vist a les figures 4, 5 i 6 deixa clar que de les dades de la llista no podem extreure conclusions generals de l'assignatura, perquè la quantitat de vídeos per cursos, quadrimestres o assignatures és força variable, però a criteri del que signa aquest article si que permet tenir una idea bastant aproximada del que es demana als alumnes en l'aprenentatge autònom del projecte d'Enginyeria Gràfica, i aquesta és, a priori, una virtut de la llista, al permetre mostrar als alumnes allò que s'espera d'ells en el darrer treball que entregaran en l'assignatura (independentment que també es facilita als alumnes un llistat detallat dels elements que ha d'incorporar el projecte, específicament un rúbrica per EG i una altra rúbrica per AEGDM).

## **5. Objectiu de la llista YouTube**

L'objectiu de la llista de reproducció YouTube "Projectes Expressió Gràfica (Solidworks)" ha estat sempre un objectiu docent, en cap cap s'ha pretès per monetitzar el canal per a guanys econòmics, independentment que queda molt lluny dels mínims que demana YouTube per monetitzar (en el moment d'escriure aquest article, els mínims demanats per l'empresa són 1.000 subscriptors i 4.000 hores de visualització en els darrers 365 dies).

## **6. Comentaris als vídeos**

La llista de projectes EG està configurada per l'autor de manera que permet la inserció de comentaris per part dels usuaris que la visualitzen. Alguns dels comentaris que podreu veure a la llista són: "my friend, can you get me the .dws file? Urgent!!!" (20-21 Motor de arranque), "em podria passar una copia en format SLDP si us plau?" (20-21 Cinta correctora), "Tienes los planos y el ensamble para

enviármelos? Me harías un gran favor” (20-21 Navaja Suiza), “Fantástico!!!. Buen trabajo!” (19-20 Pancar), “good animation” (19-20 Motor de vapor), “Plz, share cad file” (18-19 Màquina Cosir Alfa), “eeeeeh pero que chulo!” (16-17 Lego Ducati).

Malgrat la forta demanda, en els comentaris dels usuaris de la llista, per aconseguir els fitxers del projecte, en cap cas s’han facilitat arxius ni documents. Aquesta llista sols és una eina per visualitzar treballs acadèmics ja executats en aquestes assignatures de l’EEBE de la UPC, però no facilita mai els fitxers originals. A les figures 7 i 8 es poden veure captures de pantalla de dos del vídeos entregats en els projectes del curs 22-23.

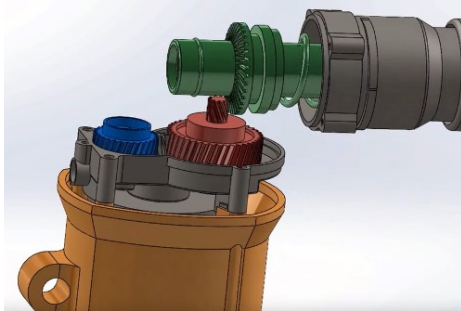


Figura 7. Captura pantalla projecte “Drille machine” dels estudiants Kostiantyn Demianenko, Guillem Hernandez i Josep Prudencio (curs 22-23).

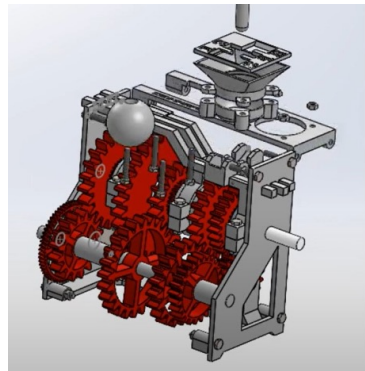


Figura 8. Captura pantalla projecte “Canvi de marxes” dels estudiants Ferran Miró, Christian Ovejero i José Ramírez (curs 22-23).

## 7. Conclusions

La implantació del pla d’estudis 2009 a les assignatures d’Expressió Gràfica i Ampliació Expressió Gràfica i Disseny Mecànic, va propiciar que és desenvolupés la competència acadèmica de treball autònom, i això es va concretar en diferents treballs escolars, un d’ells un projecte d’Enginyeria Gràfica que cal entregar el darrer dia de classe,

i que suposa la consolidació de tot allò après en les assignatures. L'autor d'aquest article va aprofitar al 2010 per demanar, als seus grups, un vídeo de presentació del projecte. Alguns dels millors vídeos van ser penjats en una llista de reproducció del canal particular Oscar Farrerons, per facilitar la visualització de la feina encarregada i, amb el pas dels cursos, la llista ha anat augmentant i adquirint un número significatiu de visualitzacions. Tot i que en aquest article s'han analitzat diferents variables, ha quedat clar que no es pot treure cap conclusió definitiva respecte al conjunt de treballs entregats, però en canvi també es pot demostrar que ha estat una eina vàlida per facilitar la tasca d'explicar el que es demana en el projecte d'Enginyeria Gràfica en els cursos respectius, i també s'ha demostrat que hi ha un cert nivell de públic pels vídeos.

## Referències

- Farrerons, O. (2023). *Projectes Expressió Gràfica (SolidWorks)* <https://www.youtube.com/playlist?list=PL9E4ECD53E6C96EB0>
- Farrerons, O. (2022): *Thirty years of teaching graphic engineering projects at the Barcelona School of Engineering*. <http://hdl.handle.net/2117/374383>
- Olmedo, N., & Farrerons, O. (2017). Assessment of the autonomous learning competence in engineering degree courses at the Universitat Politècnica de Catalunya. *Journal of Technology and Science Education*, 7(2), 86-99. <https://doi.org/10.3926/jotse.245>

---

## Autoconsumo y eficiencia: Visión futura

---

**Carlos González Expósito**

EEBE

**Bàrbara Sureda Carbonell**

EEBE - Ingeniería Gráfica y Diseño

### Resumen

Esta comunicación explora la relevancia del autoconsumo y la eficiencia energética en el contexto del cambio climático y los modelos de consumo sostenible. Comenzando con un análisis histórico y científico del cambio climático, se destacan las causas antropogénicas y sus efectos profundos en el planeta y la humanidad. Se enfatiza la necesidad de transitar hacia prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, destacando el papel fundamental de la eficiencia energética y el autoconsumo en este cambio. Se examinan conceptos innovadores como la arquitectura 'Passivhaus' y las dietas 'plant based', subrayando su contribución a un futuro más eficiente y autosuficiente. Además, se analiza la transición hacia modelos de consumo energético y alimentario sostenibles, destacando la importancia de la autosuficiencia y eficiencia a nivel individual y comunitario. El trabajo concluye resaltando la urgencia de adoptar estas prácticas sostenibles para mitigar el cambio climático y promover un desarrollo más equitativo y consciente del impacto ambiental y social.

### Abstract

This paper explores the relevance of self-consumption and energy efficiency in the context of climate change and sustainable consumption patterns. Beginning with a historical and scientific analysis of climate change, it highlights the anthropogenic causes and their profound effects on the planet and humanity. The need to move towards more sustainable and environmentally friendly practices is emphasized, highlighting the fundamental role of energy efficiency and self-consumption in this change. Innovative concepts such as 'Passivhaus' architecture and "plant-based" diets are examined, underlining their contribution to a more efficient and self-sufficient future. Additionally, the transition towards sustainable energy and food consumption

patterns is analyzed, emphasizing the importance of self-sufficiency and efficiency at the individual and community level. The paper concludes by highlighting the urgency of adopting these sustainable practices to mitigate climate change and to promote a more equitable and environmentally and socially conscious development.

---

## **1. Cambio climático: Historia, causas y efectos**

El cambio climático es un fenómeno global que afecta a todos los rincones de nuestro planeta, posee una historia tan compleja como las múltiples causas y efectos que lo caracterizan. Este fenómeno no solo altera los patrones climáticos, sino que también tiene un impacto profundo en los ecosistemas, la biodiversidad y la vida humana. El reconocimiento y estudio científico del cambio climático han evolucionado significativamente a lo largo de los años. Desde las primeras teorías y observaciones hasta los modelos climáticos actuales, la ciencia ha avanzado en la comprensión de sus mecanismos y consecuencias, subrayando la urgencia de acciones globales para mitigar sus efectos.

Las raíces de la comprensión científica del cambio climático se remontan a la época de la Revolución Industrial. Durante este período, científicos como Joseph Fourier, en 1824, comenzaron a formular hipótesis sobre la capacidad de la atmósfera terrestre para retener calor. Posteriormente, en 1896, Svante Arrhenius desarrolló una teoría que vinculaba la quema de combustibles fósiles y el incremento en los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con el calentamiento global.

El siglo XX marcó una era de avances tecnológicos que permitieron a los científicos recopilar datos más detallados y observar los cambios climáticos con mayor precisión. Un hito significativo en la investigación del cambio climático ocurrió en la década de 1950 con el trabajo de Charles David Keeling. Sus estudios demostraron un



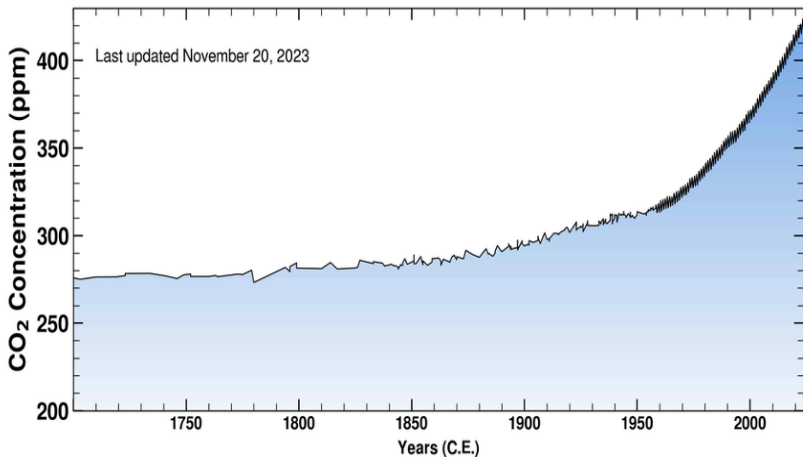


Figura 1. Curva de Keeling. Datos desde 1700 hasta el presente (The Keeling Curve, 2023).

aumento constante en los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, un hallazgo que motivó a la comunidad científica a profundizar en el estudio de las causas y efectos del cambio climático.

A lo largo del siglo XX, se hizo cada vez más patente que las actividades humanas desempeñaban un papel fundamental en el cambio climático. El crecimiento masivo de la industrialización y la creciente dependencia de los combustibles fósiles llevaron a un incremento exponencial en la emisión de gases de efecto invernadero. Este aumento de gases, como el dióxido de carbono y el metano, intensificó el efecto invernadero natural, acelerando así el proceso del calentamiento global. Este reconocimiento marcó un punto de inflexión en la comprensión de cómo las acciones humanas impactan directamente en el equilibrio climático del planeta.

A finales del siglo XX y comienzos del XXI, el cambio climático emergió como un tema de preocupación global, trascendiendo las fronteras nacionales y convirtiéndose en una prioridad en la agenda

internacional. Eventos significativos como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, también conocida como Cumbre de la Tierra, celebrada en 1992, y la adopción del Protocolo de Kioto en 1997, fueron hitos cruciales que marcaron el inicio de un esfuerzo internacional concertado para combatir el cambio climático. Estos eventos no solo reconocieron la magnitud y la gravedad del problema, sino que también establecieron marcos legales y compromisos internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover prácticas sostenibles a nivel mundial. (*Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil, 3-14 de junio de 1992* | Naciones Unidas, 2023) (De Estocolmo a Kyoto: Breve historia del cambio climático | Naciones Unidas, 2023).

En nuestros días, la lucha contra el cambio climático se enfrenta a una combinación compleja de desafíos y oportunidades. Aunque los avances científicos y un mayor nivel de conciencia pública han impulsado el movimiento hacia la mitigación del cambio climático, estos esfuerzos a menudo se encuentran con obstáculos debido a intereses económicos y políticos contrapuestos. La urgencia de la situación se ve intensificada por fenómenos climáticos extremos cada vez más frecuentes y evidentes, que subrayan la necesidad de acción inmediata. Sin embargo, hay motivos para el optimismo. El desarrollo y la adopción de tecnologías renovables están en aumento, ofreciendo alternativas viables a los combustibles fósiles. Además, estrategias como la mejora de la eficiencia energética, el fomento del autoconsumo y el desarrollo de economías circulares están ganando terreno. Estos enfoques no solo contribuyen a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también abren la puerta a una transformación hacia sociedades más sostenibles y resilientes. La combinación de innovación tecnológica, políticas efectivas y participación de la ciudadanía es clave para superar los desafíos actuales y construir un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

### **1.1. Causas antropogénicas del cambio climático**

En las últimas décadas, el cambio climático se ha consolidado como uno de los desafíos más cruciales a los que se enfrenta la humanidad, con un impacto palpable y global. Si bien las causas naturales pueden inducir alteraciones temporales en el clima, su impacto tiende a ser limitado y, en muchos casos, reversible. Sin embargo, la influencia antropogénica en el cambio climático actual es innegable y significativa, destacándose principalmente por:

- **Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):** La actividad humana, especialmente a través de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural, ha llevado a un incremento sustancial en la concentración de GEI en la atmósfera. Estos gases, que incluyen dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), atrapan el calor del sol y contribuyen al calentamiento global. Este fenómeno, conocido como el efecto invernadero, es la principal causa del cambio climático observado en la era moderna.
- **Agricultura y ganadería intensiva:** La demanda de alimentos a nivel mundial ha alcanzado cifras sin precedentes, y la producción agrícola y ganadera intensiva es responsable de emisiones considerables de metano y  $\text{CO}_2$ . Procesos como la fermentación entérica en el ganado y la gestión inadecuada de estiércoles son fuentes clave de metano, mientras que la deforestación para ampliar terrenos agrícolas contribuye significativamente al incremento de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.
- **Sector energético:** La quema de combustibles fósiles para generar energía y propulsar todo tipo de vehículos es una de las principales fuentes de emisiones de  $\text{CO}_2$ . El crecimiento poblacional, junto con la dependencia casi absoluta de esta energía, complica actualmente la lucha contra el cambio climático. Estas emisiones representan el 73 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y casi el 90 % de todas las emisiones de dióxido de carbono.

- **Industria:** El sector industrial es otro actor principal en la emisión de GEI. La producción y fabricación industrial, dependientes en gran medida de energía derivada de fuentes fósiles, liberan una cantidad significativa de estos gases a la atmósfera. Por tanto, la reducción de estas emisiones, junto con la adopción de prácticas sostenibles y el desarrollo de tecnologías más limpias, se presenta como un paso esencial hacia un futuro más sostenible y resiliente frente al cambio climático. (*Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? - Our World in Data, s. f.*)

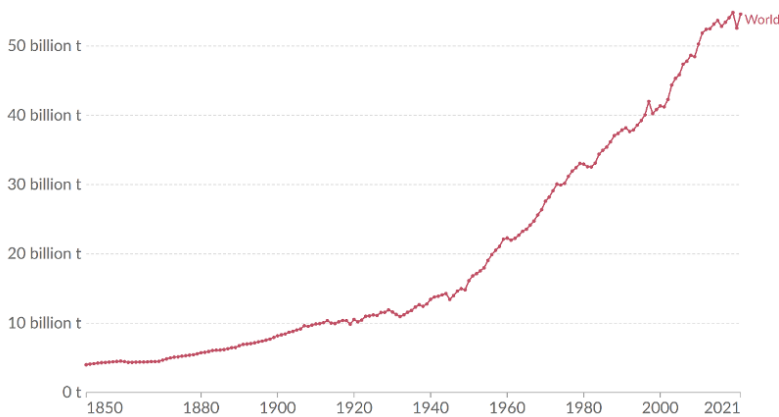


Figura 2. Histórico de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo. (Greenhouse gas emissions, s.f.).

En conjunto, estas actividades humanas destacan como las principales impulsoras del cambio climático contemporáneo. Comprender y abordar estas causas antropogénicas es crucial para formular estrategias efectivas de mitigación y adaptación ante esta problemática global.

## 1.2. Efectos del cambio climático

El cambio climático está imprimiendo cambios profundos en nuestro planeta y la vida que alberga. Con fenómenos como el aumento de temperaturas, la reducción del hielo polar, eventos climáticos extremos y afectaciones a la biodiversidad, este desafío global está redefiniendo nuestro medio ambiente y modo de vida. A continuación, examinaremos los efectos más críticos del cambio climático, subrayando su impacto inmediato y a largo plazo:

**Aumento de temperaturas:** Uno de los efectos más destacados y preocupantes del cambio climático es el aumento constante de las temperaturas globales. Este incremento no solo altera las isotermas climáticas y los patrones de circulación atmosférica, sino que también acelera el derretimiento de los glaciares y aumenta la variabilidad climática extrema .

**Salud humana:** El calentamiento global conlleva serias implicaciones para la salud humana. Se observa un incremento en enfermedades relacionadas con el calor y un mayor riesgo de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, como el dengue y el Zika. Estos cambios en la salud se deben en gran medida al desplazamiento de hábitats de vectores y a las temperaturas extremas .

**Migración y desplazamientos:** El cambio climático está provocando grandes desplazamientos masivos de población, ya que las zonas habitables se tornan inhóspitas debido a condiciones climáticas extremas. Este fenómeno representa un desafío significativo para la planificación urbana y rural, así como para la gestión de recursos y la estabilidad socioeconómica .

**Economía global:** Los efectos del cambio climático tienen un impacto sustancial en la economía global. Los costos económicos asociados con el calentamiento global son exorbitantes y tendrán repercusiones duraderas en generaciones futuras, afectando diversos sectores como la agricultura, la infraestructura y la salud .

**Eventos climáticos extremos:** Fenómenos naturales como huracanes, inundaciones y olas de calor están intensificándose, convirtiéndose en eventos de carácter extremo. Estos eventos tienen un impacto directo y devastador en la vida de las personas, así como en la infraestructura y los ecosistemas .

**Agricultura y alimentación:** Las altas temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación están afectando la producción agrícola y la disponibilidad de agua. Esto representa un desafío significativo para la seguridad alimentaria y la gestión de recursos hídricos a nivel global .

En conjunto, estos efectos del cambio climático subrayan la urgencia de acciones colectivas e individuales dirigidas a mitigar y adaptarse a este fenómeno global. La comprensión de estos impactos es fundamental para desarrollar estrategias efectivas que aseguren un futuro sostenible y resiliente.

## **2. Eficiencia energética**

La eficiencia energética es un concepto esencial en el ámbito de la gestión de recursos y la sostenibilidad ambiental. Se define como la capacidad de maximizar la producción útil de energía a partir de una cantidad específica de energía utilizada. En esencia, implica hacer más con menos. Esta práctica se aplica en varios sectores como la industria, el transporte, la construcción y la tecnología. Su implementación resulta en la reducción de costos, la conservación de recursos naturales y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero .

La eficiencia energética ha experimentado una evolución significativa a lo largo de la historia. En sus inicios, estaba estrechamente vinculada al uso y manejo de los recursos naturales y a las limitaciones tecnológicas de la época. Este concepto empezó a adquirir su forma actual durante la Revolución Industrial, época en la que el creciente uso de combustibles fósiles generó una mayor

conciencia sobre la importancia de utilizar la energía de manera más eficiente.

A medida que avanzaba el siglo XX, eventos como la crisis del petróleo y la creciente preocupación por el cambio climático impulsaron el desarrollo de tecnologías más eficientes y la adopción de políticas para mejorar la eficiencia energética. La historia de este campo está marcada por una conciencia creciente sobre la necesidad de optimizar el uso de la energía, no solo para preservar los recursos naturales, sino también para minimizar el impacto ambiental.

En la actualidad, la eficiencia energética es más relevante que nunca. Se considera un pilar clave en la búsqueda de un desarrollo sostenible y en la mitigación del cambio climático. La eficiencia energética hoy en día implica no solo el diseño de sistemas y productos que consuman menos energía, sino también la optimización de procesos, el uso de tecnologías avanzadas y renovables, y la promoción de una concienciación global sobre el uso responsable de la energía. Además, juega un papel crucial en la reducción del impacto ambiental y económico, satisfaciendo las necesidades energéticas actuales de manera más inteligente y sostenible .

### **3. Autoconsumo**

El autoconsumo va más allá de la simple noción de que una persona o entidad produzca y consuma sus propios recursos energéticos de manera independiente. Este concepto se ha expandido para incluir iniciativas de autoconsumo a nivel local o regional, que no solo fomentan la autogestión energética, sino que también promueven el bienestar social y la sostenibilidad ambiental. En este sentido, el autoconsumo se convierte en una respuesta colectiva y colaborativa a las exigencias medioambientales actuales, ofreciendo una solución integrada que aborda los desafíos energéticos y climáticos de nuestra sociedad. Al incentivar el uso de energías renovables y la eficiencia energética en la comunidad, el autoconsumo contribuye a crear

sistemas energéticos más resilientes, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y disminuyendo el impacto ambiental. Pero no debemos limitarnos solo al ámbito energético; es igualmente crucial otorgar un peso importante al autoconsumo alimentario, que está llamado a ser uno de los pilares fundamentales en la transición energética de nuestro presente y futuro. Esta forma de autoconsumo implica la producción y utilización de alimentos a nivel local, lo que no solo reduce la huella de carbono asociada al transporte de alimentos, sino que también promueve la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y el apoyo a las economías locales. Al integrar el autoconsumo alimentario en nuestra visión de un futuro sostenible, estamos abordando de manera integral los retos ambientales, fortaleciendo las comunidades y fomentando prácticas más respetuosas con el planeta.

Aunque pueda parecer un concepto moderno, el autoconsumo está profundamente arraigado en la historia humana. Desde tiempos antiguos, la práctica de producir y consumir recursos localmente ha sido una parte integral de las sociedades, adaptándose a lo largo del tiempo a las necesidades y capacidades tecnológicas de cada era. Este concepto ha evolucionado para incorporar no solo la autosuficiencia en recursos básicos sino también la integración de tecnologías avanzadas y renovables para una gestión energética más sostenible y eficiente .

El autoconsumo, en combinación con la eficiencia energética, se presenta como una solución prometedora para enfrentar la crisis climática y los desafíos socioeconómicos. A nivel energético, permite a individuos y comunidades reducir su huella ambiental y fortalecer su autonomía frente a las fluctuaciones del mercado. Paralelamente, fomenta la concienciación sobre el uso responsable de la energía y la implementación de prácticas más eficientes. En el ámbito alimentario, el autoconsumo impulsa un cambio en el modelo de consumo hacia prácticas más sostenibles, como la agricultura de proximidad y dietas basadas en plantas. Este enfoque holístico del autoconsumo en



combinación con la eficiencia energética es fundamental para satisfacer nuestras necesidades de manera inteligente y sostenible, reduciendo nuestro impacto ambiental y económico .

#### **4. Modelos de consumo sostenibles**

Los modelos de consumo actuales, especialmente en términos energéticos y alimentarios, se caracterizan por su dependencia de recursos no renovables y sistemas de producción y distribución a gran escala. Este enfoque, predominante durante décadas, se basa en la eficiencia en términos de producción y distribución masiva, pero ha pasado por alto aspectos cruciales como la sostenibilidad, la eficiencia energética, y el impacto ambiental. Estos modelos han llevado a una situación insostenible, marcada por el agotamiento de recursos, el aumento de la contaminación y el cambio climático.

La transición hacia modelos de consumo energético y alimentarios sostenibles es una necesidad imperante. Esta transformación implica un cambio significativo en la manera en que producimos, distribuimos y consumimos energía y alimentos. La clave está en adoptar prácticas que fomenten la autosuficiencia, el autoconsumo y la eficiencia, tanto a nivel individual como comunitario. En el ámbito energético, esto incluye el uso de fuentes renovables y la implementación de tecnologías eficientes que permitan a los individuos y comunidades reducir su dependencia de las redes convencionales, minimizando su huella de carbono. En cuanto al consumo alimentario, se observa un creciente interés en la agricultura local y de pequeña escala, así como en dietas basadas en plantas, que tienen un menor impacto ambiental en comparación con los patrones alimentarios tradicionales basados en el consumo intensivo de carne.

Un ejemplo práctico de esta transición puede verse en el ámbito residencial, donde las viviendas se están convirtiendo en espacios autosuficientes en términos energéticos mediante la integración de tecnologías como paneles solares y sistemas de gestión energética eficientes. Además, se promueve la producción de alimentos a

pequeña escala mediante huertos urbanos y prácticas de permacultura. Estas iniciativas no solo reducen la dependencia de los sistemas convencionales, sino que también mejoran la resiliencia y sostenibilidad de las comunidades, preparándolas para los retos futuros

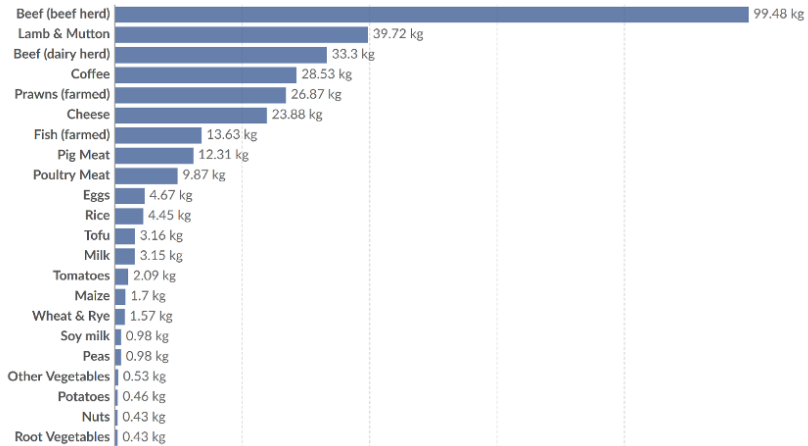


Figura 3. Emisiones de gases de efecto invernadero por kilogramo de comida (Poore & Nemecek, 2018).

La transición hacia modelos de consumo energético y alimentarios más sostenibles es esencial para abordar los desafíos ambientales y socioeconómicos actuales. Implica un cambio profundo en nuestras prácticas y hábitos, orientándonos hacia una mayor autosuficiencia y sostenibilidad. Este cambio no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino que también ofrece ventajas en términos de salud, economía y calidad de vida, marcando el camino hacia un futuro más resiliente y consciente.

## 5. Futuro eficiente y autosuficiente

Conceptos innovadores en la arquitectura y la alimentación están marcando el camino hacia un futuro más sostenible. 'Passivhaus' es un ejemplo destacado en el ámbito de la construcción, refiriéndose a viviendas diseñadas para ser totalmente eficientes y autosuficientes. Estas casas utilizan tecnologías avanzadas para minimizar su huella energética, aprovechando recursos como la energía solar y mejorando el aislamiento para reducir la necesidad de calefacción y refrigeración. Por otro lado, las dietas 'plant based' están ganando popularidad como una estrategia alimentaria sostenible. Estas dietas promueven una transición hacia una alimentación basada en vegetales, eliminando o reduciendo significativamente el consumo de productos animales. Esta tendencia no solo beneficia la salud personal, sino que también reduce la demanda de recursos intensivos en agua y tierra, asociados con la agricultura animal.

Estos conceptos, entre muchos otros, son pilares fundamentales para orientar a la sociedad hacia un modelo de consumo que no solo es sostenible, sino también ético y saludable. Este enfoque es crucial para cumplir con las recomendaciones de los expertos con el fin de combatir el aumento de las temperaturas y, en consecuencia, frenar el cambio climático. Al adoptar estas prácticas en nuestras vidas diarias, podemos contribuir significativamente a la protección del medio ambiente y fomentar un cambio positivo en nuestra sociedad.

Es crucial recordar que toda transición energética debe ser gestionada con un control riguroso para garantizar que se lleva a cabo de manera justa e igualitaria. El desafío más significativo al que se enfrenta la comunidad internacional es la extracción y gestión de materias primas fundamentales, las cuales son esenciales en el desarrollo de tecnologías eficientes y sostenibles. Estas tecnologías, como las baterías de litio, las placas fotovoltaicas, los aerogeneradores, y los sistemas de refrigeración y calefacción de alta eficiencia, son vitales para alcanzar el objetivo de emisiones netas cero. (*Net Zero Coalition | Naciones Unidas, 2023*).

Sin embargo, la extracción de estas materias primas a menudo implica complejidades ambientales, económicas y sociales. Por ejemplo, la minería de litio, esencial para las baterías de vehículos eléctricos y almacenamiento de energía, puede tener un impacto significativo en los ecosistemas locales y en las comunidades. Asimismo, la producción de placas fotovoltaicas requiere materiales como el silicio, cuya obtención debe ser gestionada de manera sostenible.

Por tanto, es imperativo que las estrategias de transición energética incluyan planes para la extracción sostenible y ética de estas materias primas, así como para la gestión eficiente de su ciclo de vida, incluyendo el reciclaje y la reutilización. Este enfoque integral no solo ayudará a mitigar los impactos ambientales y sociales negativos, sino que también garantizará una transición más equitativa hacia un futuro energético sostenible.

“A través de los cambios en el sector alimentario, la electricidad, el transporte, la industria, los edificios y el uso de la tierra, se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo, estos cambios pueden ayudar a las personas a llevar un estilo de vida con bajas emisiones de carbono, lo cual también promoverá la mejora de la salud y el bienestar. Con un mayor conocimiento de las consecuencias del consumo excesivo, las personas pueden tomar decisiones mejor fundamentadas”. (AR6 Informe de síntesis: Cambio Climático 2023 — IPCC, 2023).

## Referencias

AR6 Informe de síntesis: Cambio Climático 2023 — IPCC. (s. f.). Recuperado 23 de noviembre de 2023, de <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil, 3-14 de junio de 1992 | Naciones Unidas. (s. f.). Recuperado 23 de noviembre de 2023, de <https://www.un.org/es/conferences/environment/rio1992>

- De Estocolmo a Kyoto: Breve historia del cambio climático* | Naciones Unidas. (s. f.). Recuperado 23 de noviembre de 2023, de <https://www.un.org/es/chronicle/article/de-estocolmo-kyotobreve-historia-del-cambio-climatico>
- Greenhouse gas emissions*. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2023, de [https://ourworldindata.org/grapher/total-ghg-emissions?tab=chart&country=~OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/total-ghg-emissions?tab=chart&country=~OWID_WRL)
- Net Zero Coalition* | Naciones Unidas. (s. f.). Recuperado 23 de noviembre de 2023, de <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAQ0216>
- Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?* - *Our World in Data*. (s. f.). Recuperado 3 de diciembre de 2023, de <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
- The Keeling Curve*. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2023, de <https://keelingcurve.ucsd.edu/>

---

## Trastornos de la conducta alimentaria, aportación creativa y diseño

---

**Marta López Garrido, Jordi Voltas Aguilar, Mireia Puig-Poch**  
ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

### Resumen

En la actualidad, los Trastornos de Conducta Alimentaria (TCA) constituyen un desafío creciente en la salud mental, con un aumento significativo en su prevalencia. Este estudio aborda estos trastornos desde una perspectiva innovadora, fusionando ingeniería, diseño de producto y creatividad. Su objetivo principal es desarrollar un dispositivo para la detección temprana y tratamiento de la bulimia, caracterizada por episodios de vómitos autoinducidos. El dispositivo registra la acidez del agua en el inodoro después de cada uso, sincronizando datos con una aplicación móvil.

Las aplicaciones potenciales son diversas. Actúa como herramienta de concienciación para individuos con bulimia, ofreciendo información sobre la frecuencia de los episodios y el progreso en el tratamiento. Los profesionales de la salud mental pueden utilizar estos datos para personalizar la atención. La capacidad del dispositivo para alertar a familiares cercanos es crucial en situaciones de emergencia. Validado mediante entrevistas y encuestas, con especialistas, padres y pacientes, se espera que este dispositivo contribuya significativamente a la detección y tratamiento de TCA relacionados con vómitos autoinducidos, como la bulimia y la anorexia purgativa.

### Abstract

Currently, Eating Disorders (ED) constitute a growing challenge in mental health, with a significant increase in their prevalence. This study addresses these disorders from an innovative perspective, merging engineering, product design, and creativity. Its main objective is to develop a device for the early detection and treatment of bulimia, characterized by episodes of self-induced vomiting. The device records the acidity of the water in the toilet after each use, syncing data with a mobile app.

The potential applications are diverse. It acts as an awareness tool for individuals with bulimia, offering information on the frequency of episodes and progress in

treatment. Mental health professionals can use this data to personalize care. The device's ability to alert close family members is crucial in emergency situations. Validated through interviews and surveys with specialists, parents, and patients, this device is expected to contribute significantly to the detection and treatment of eating disorders related to self-induced vomiting, such as bulimia and purgative anorexia.

## 1. Introducción

### 1. Hipótesis, verificación y concepto

El diseño, la creatividad y la tecnología pueden hacer una aportación a los trastornos de conducta alimentaria. Con esta comunicación se presenta el trabajo de investigación realizado y la propuesta validada por especialistas, padres y personas que han pasado por una bulimia, y se considera que es viable a nivel ético, tecnológico, económico y de uso.

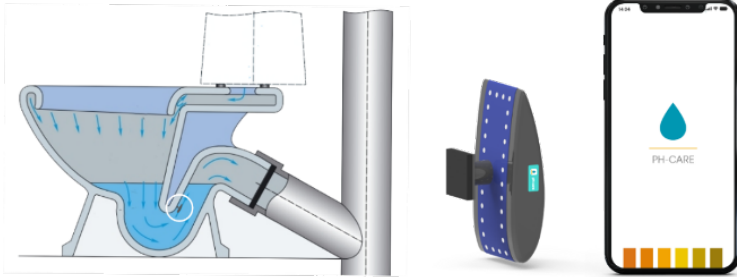


Figura 1. Concepto producto prevención y tratamiento bulimia.

El concepto del producto desarrollado consiste en un dispositivo diseñado para ser instalado en el sifón de los inodoros que mide el nivel de pH del agua, detectando los cambios de pH, que, vinculado con la aplicación móvil “PH-CARE”, ofrece información sobre el

registro de datos, así como avisos cuando detecta un incremento de acidez de pH.

## **2. TCA**

Los Trastornos de Conducta Alimentaria (TCA) son la tercera enfermedad crónica más común entre adolescentes. Aproximadamente medio millón de personas en España sufren un TCA (SEMG, Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia, 2018). El curso natural de los TCA es variable, pero como media se demora 4-5 años, llegando a la recuperación aproximadamente el 65 % de los casos (Ministerio de Sanidad y Consumo Gobierno de España, 2009). La bulimia nerviosa tiene una tasa de mortalidad bruta del 3,9 %, la anorexia nerviosa un 4,0 % y los TCA no especificados un 5,2 % (NEDA, National Eating Disorders Association, 2022). Se estima que para el año 2030 los problemas de salud mental serán la principal causa de pérdida de vida saludable (ISGlobal Instituto de Salud Global Barcelona, 2023). Hay que reforzar la educación, la concienciación, la prevención y la ayuda a pacientes para frenar la enfermedad (SEMG, Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia, 2018).

### **2.1. Bulimia**

La bulimia se caracteriza por episodios recurrentes de atracones, comportamientos compensatorios inapropiados para evitar el aumento de peso, como el vómito autoprovocado, el uso incorrecto de laxantes, diuréticos u otros medicamentos, el ayuno o el ejercicio excesivo (American Psychiatric Association, 2014).

La Asociación Contra la Bulimia y la Anorexia (ACAB), afirma que la bulimia nerviosa fácilmente pasa desapercibida ya que no se producen necesariamente alteraciones en el peso, pueden presentar peso normal, como peso bajo o sobrepeso.



NEDA, National Eating Disorders Association (2022), informa de que los ciclos recurrentes de atracones y purgaciones de la bulimia pueden afectar todo el sistema digestivo y llevar a un desbalance químico y electrolítico en el cuerpo que puede afectar las funciones del corazón y otros órganos principales, así como consecuencias neurológicas y mentales.

### 3. Investigación

El objetivo fundamental de esta investigación ha sido comprender la experiencia de la bulimia desde múltiples perspectivas: la de quienes la han vivido, la de especialistas en trastornos alimentarios, la del entorno escolar y la de los padres, lo que ha permitido definir y validar el concepto y usos del producto propuesto.

Se ha llevado a cabo una investigación compuesta por: documentación existente sobre la bulimia, entrevistas a dos chicas adolescentes que han superado la bulimia, entrevistas a tres especialistas en psicología, cuestionario a una especialista en psiquiatría, a una especialista en pediatría y a dos especialistas en farmacéutica, entrevista a una docente de Educación Secundaria Obligatoria, a una orientadora de instituto, a tres padres cuyas hijas que han experimentado bulimia y una encuesta a 79 padres.

Tras la investigación, se han definido las etapas por las que pasa una persona que padece bulimia.



Figura 2. Etapas bulimia.

En este ciclo, los momentos donde el dispositivo puede tener lugar es en la detección temprana del problema y como complemento del tratamiento ya que, tal como dice la especialista en psiquiatría Ángela González (en comunicación personal, junio 2023), la bulimia “es un circuito de recompensa, muy potente que se asimila con los problemas de adicción”. Facilitar y acelerar la conversación entre padres e hijos en el momento que los padres detecten que la hija/o está realizando estos comportamientos provocará un inicio más temprano del tratamiento. En el caso de ser utilizado como complemento del tratamiento en personas que se quieren recuperar, el hecho de que sean conscientes de su progreso y tengan datos objetivos tanto ellos como los especialistas, puede provocar que la superación del trastorno sea más rápida. Tal y como afirma la especialista en pediatría Paula Alquézar Yus (en comunicación personal, junio 2023) sobre la detección precoz en el caso del uso del dispositivo como medida preventiva primaria “Sí, sin duda nos ayudaría a diagnosticar estas situaciones, ya que normalmente las pacientes tienden a minimizar su sintomatología, mienten a sus seres queridos e intentan ocultar la enfermedad... Es interesante abordar la enfermedad desde sus inicios, previo a la aparición de complicaciones y este dispositivo nos permitiría precisamente eso, un diagnóstico más temprano.”

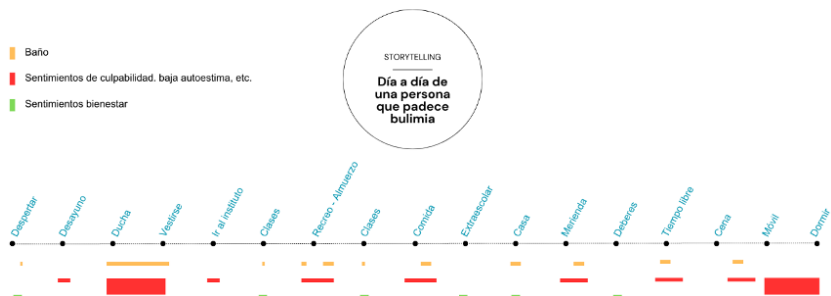


Figura 3. Storytelling día a día de una persona que padece bulimia.

Se ha planteado una posible rutina diaria (ver figura 3) del prototipo de persona con bulimia: chica joven adolescente entre 15-18 años. Se han marcado los momentos en los que hay más probabilidad que acuda al baño donde podría purgarse, los momentos donde siente más baja autoestima, culpabilidad y/o odio hacia sí misma y los momentos en los que deja de pensar en la comida y su imagen corporal. Los momentos más críticos son los momentos en los que se ven su cuerpo desnudo o tienen tiempo para reflexionar y realizar una autocrítica.



Figura 4. Mapa stakeholders.

Tras la investigación realizada se han podido definir posibles usos y aplicaciones del producto, así como la involucración de los stakeholders (ver figura 4) más importantes para introducción del dispositivo y correcto uso:

- Complemento en el tratamiento de la bulimia para los pacientes que quieren curarse, como complemento de terapia para controlar los posibles vómitos. Laia Julià Marcet, especialista en psicología (en comunicación personal, marzo 2023), considera que aporta información objetiva, control del progreso y de las recaídas. Es información a la que puede tener acceso el paciente, familiares, amigos y especialistas. Los especialistas a

través de esta información pueden encontrar la causa en función de la frecuencia y patrón de los vómitos y trabajarlo en las sesiones con el paciente, acelerando el tratamiento. El hecho de que los familiares o amigos, pero principalmente padres, reciban un aviso cuando la hija/o ha tenido una recaída, permitirá que la persona que está sufriendo la recaída, reciba apoyo inmediato y se le brinde la oportunidad de hablar de sus problemas en ese instante con sus personas de confianza. Para el paciente, el hecho de conocer que va a registrar el vómito tiene que ser una ayuda para superar la adicción a provocarse vómitos para purgarse.

- Detección temprana de la bulimia como medida de sobreprotección de los padres frente a la posibilidad de que su hija/o pueda pasar un TCA de este tipo.
- Confirmar o desmentir las sospechas que los padres puedan tener sobre si su hija/o esté pasando por un trastorno de conducta alimentaria en el que se provoca vómitos autoinducidos.
- Desde el momento en el que la familia confirma este tipo de comportamientos hasta que se inicia el tratamiento, se puede instalar el dispositivo de forma oculta como medida de comprobación y vigilancia, y recibir avisos.
- La instalación de este dispositivo en institutos y colegios podría suponer una medida de prevención secundaria, detectando las primeras veces que una alumna/o se provoca vómitos autoinducidos en los lavabos del instituto o colegio donde estudia. No indicaría el nombre de la persona, pero sí se conocería el lavabo que ha utilizado y la hora a la que lo ha realizado. De esta manera, alertando a los profesores, se puede llegar a conocer quién es la alumna/o que tiene estos síntomas y establecer el protocolo para avisar a sus padres o tutores legales y que inicie el tratamiento cuanto antes.

- La instalación de este dispositivo en los centros de tratamiento como hospitales de día o residenciales, dará un aviso a los monitores en el caso de que algún paciente haya vomitado en el lavabo. Esto sería útil en los momentos en los que se ausentan los monitores y no pueden acompañarles al baño. El hecho de que tomen laxantes a escondidas en el baño no se detectaría, por lo que este dispositivo no podría sustituir esta función de los monitores de estos centros.

La propia persona que sufre el TCA es la más interesada en hacer uso de este dispositivo para concienciarse del problema que tiene y de su evolución con el fin de una recuperación más temprana a partir de datos objetivos.

La parte ética y legal de este dispositivo se entromete en los casos de uso oculto. Por ejemplo, en el caso de uso en el que los padres que tienen una sospecha de que su hija/o no les cuenta la verdad sobre si vomita en el baño y quieren comprobar si es verdad. También en el caso de uso en el que los padres, tras haberse enterado de que su hija/o tiene estos comportamientos por terceras personas, quieren saber cuándo su hija/o tiene estos comportamientos y comunicárselo a especialistas.

Esta parte ética queda validada por el 82 % de los padres encuestados, los cuales piensan que lo hacen por la salud de sus hijos.

Especialistas farmacéuticos y del ámbito pediátrico opinan que el hecho de esconder el dispositivo puede estar justificado en casos donde no hay una buena comunicación (Celia Blasco, en comunicación personal, junio 2023), o bien en situaciones de sospecha o indicio donde puede estar justificado este acercamiento ocultado (Paula Alquézar Yus y Ángela Badia, en comunicación personal, junio 2023). Aunque esté validada siempre dependiendo de la situación familiar, hay especialistas que confirman que este

comportamiento puede ser contraproducente en el caso de que la persona que está sufriendo la enfermedad lo descubra “siempre aceptado por el paciente, no puede ser ni a escondidas ni una obligación ni nada, para eso hay que ir con cuidado, porque es verdad que si no, el paciente se va a poner en contra o de la familia o del profesional o de quien haya decidido esto” – Ángela González, especialista en psiquiatría (en comunicación personal, junio 2023).

La parte legal queda validada por artículo 154 del Código Civil, el Artículo 4 de la Ley Orgánica 1/1996, de 15 de enero, de Protección Jurídica del Menor y el artículo 16 de la Ley 8/2008, de 20 de junio, de la Generalitat, de los derechos de salud de niños y adolescentes. El uso de este producto sería utilizado por los padres para velar por la salud de sus hijos, recogiendo información únicamente de la fecha y hora a la que se ha producido un acto purgativo en forma de vómito con el fin de conocer si está sufriendo en silencio un trastorno de conducta alimentaria como es la bulimia o la anorexia purgativa. Por lo que sería legal que los padres lo utilizaran con este propósito pero únicamente con hijos menores de edad, en el caso de ser mayores de edad, deberán ser informados para respetar sus derechos humanos.

Aunque el objetivo del dispositivo sea prevenir y acelerar el tratamiento de la bulimia, hay que tener en cuenta sus limitaciones, tal y como comenta la psicóloga del Centro Hospital del Día ITA de Barcelona Laia Julià Marcet (en comunicación personal, marzo 2023): “Los vómitos no solo se producen en el baño, también pasa en la ducha, papelera, armario, bolsas... por lo que también se tiene que tener en cuenta que no se va a evitar que se realicen los vómitos... La bulimia nerviosa es un trastorno más complejo y con otra sintomatología relacionada que va más allá del vómito”.

El dispositivo se basa en la detección de un cambio de acidez en el agua del lavabo. Para ello se utilizan sensores de pH capaces de medir este cambio de acidez o alcalinidad. El pH se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutral, menores a 7 son ácidos y

mayores a 7 son alcalinos. El pH indica la concentración de iones hidrógeno  $[H]^+$  presentes en determinadas disoluciones. Se puede cuantificar de forma precisa mediante un sensor que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos, un electrodo de referencia (de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno (Kuphaldt, 2008). Esta diferencia de potencial varía dependiendo del pH de la solución y se puede medir utilizando un circuito electrónico y un microcontrolador.

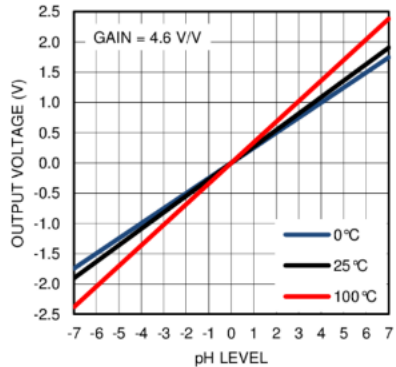


Figura 5. Diferencia de potencial en función del nivel de pH. (Dorokhov, Kuper & Sheromov, 2015).



Figura 6. Prototipo funcional sensor pH y aplicación.

Se ha desarrollado un prototipo a partir de la placa de Arduino ESP8266, Blynk y el sensor PH 4502C y la sonda PH E-20 para transmitir la idea de la funcionalidad del producto (ver figura 6). Se

han preparado dos soluciones con distinto pH para verificar el código. Una de agua del grifo de Barcelona (pH 7.5 aprox.) y agua del grifo de Barcelona con jugo de limón (pH 3.5 aprox.). Para comprobar de manera aproximada el correcto funcionamiento del sensor se han utilizado tiras de medición de pH para poder comparar el valor obtenido en la aplicación.

El pH de la mezcla del vómito con el agua de sellado del inodoro será de aproximadamente pH 5.60.

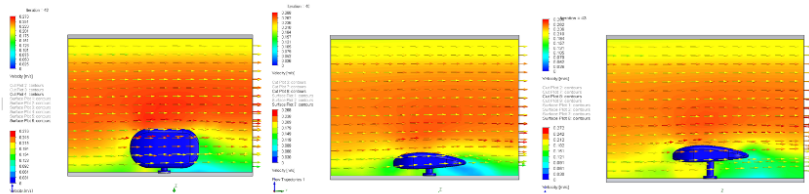


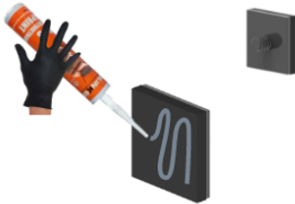
Figura 7. Iteraciones forma y estudio fluidodinámico.

Se realiza un análisis de forma del dispositivo con los siguientes requerimientos:

- Las dimensiones del producto deben permitir su instalación en el interior del sifón, sumergido en el agua de sellado, y asegurar un paso adecuado para los desechos orgánicos eliminados en el inodoro.
- Debe tener una forma fluidodinámica que minimice la interrupción del flujo de agua y no afecte al funcionamiento del lavabo.
- La forma del dispositivo debe posibilitar una limpieza eficiente y sin complicaciones, garantizando que no se retengan residuos como heces, papel higiénico u otros elementos.



1 | Aplicar sellador en el anclaje



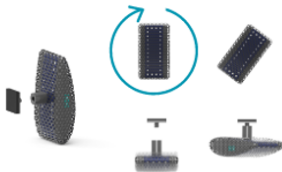
**Importante:** Utilizar guantes de silicona para su aplicación. En caso de contacto con la piel o ojos, seguir las indicaciones del fabricante.

2 | Pegar el anclaje



Colocar el aplique en la parte trasera del inodoro y dejar pasar 24h para que cure. No utilizar el baño durante estas horas.

3 | Instalar dispositivo pH-care



Enroskar dispositivo en el anclaje. Girar hasta el final. Asegurar que queda vertical y según lo indicado en el dibujo, parte más estrecha en la parte superior.

4 | Vincular dispositivo



Descargar la aplicación pH-care a través de Google Play o App Store y vincular el dispositivo a través del QR de la página inicial de las instrucciones.

Figura 8. Proceso instalación dispositivo.

Para la instalación del dispositivo en el inodoro, se plantean dos partes: una parte que quedará fija en el inodoro, y otra extraíble, que será la parte electrónica y sensorica del dispositivo, la cual necesitará mantenimientos más frecuentes. La parte fija se unirá al inodoro a partir de un adhesivo-sellador. Para la parte extraíble se ha planteado una unión tornillo-rosca. En cuanto a la transmisión de datos entre el dispositivo y la aplicación, será necesario vincularlos.

La aplicación permite visualizar el registro de la variación de acidez en el agua del inodoro donde está instalado el dispositivo. De manera



Figura 9. Pantallas aplicación dispositivo.

gráfica, se resumen los datos semanales y mensuales, así como los últimos registros. Esto permite ver a simple vista la evolución (ver figura 9).

Los usuarios que utilizarán esta aplicación, en función del propósito y uso que se le dé en función del contexto, serán:

- Pacientes que quieren curarse de la bulimia o trastorno de conducta similar relacionado con comportamientos purgativos a través de vómitos autoinducidos. Se aproxima que el 85% serán

adolescentes (SEMG, Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia, 2018).

- Terapeutas y/o psicólogos para conocer la evolución del paciente que está utilizando el dispositivo en el tratamiento, así como detectar patrones y trabajarlos en las sesiones.
- Padres que quieren conocer el progreso de su hija/o en tratamiento o que quieren salir de sospechas.

#### 4. Conclusiones

En resumen, el dispositivo diseñado y desarrollado aporta innovación tecnológica al tratamiento de trastornos de conducta alimentaria, específicamente bulimia y anorexia purgativa. Utilizando sensores de pH en el inodoro, detecta vómitos a través de cambios en la acidez del agua, permitiendo a los pacientes llevar un registro y a los terapeutas analizar patrones para mejorar el tratamiento. Su costo accesible de 75.91 € lo hace viable para una amplia audiencia. Entrevistas y encuestas a especialistas respaldan su concepto. Además, su potencial de aplicación en otros campos de la salud, como la detección de enfermedades a través del pH de la orina, destaca su versatilidad y capacidad para contribuir a la salud y el bienestar de manera más amplia. Sin embargo, se deben considerar limitaciones y desafíos éticos en su implementación. La propuesta tiene viabilidad suficiente como para seguir desarrollando el concepto hacia un producto funcional y comercial.

#### Referencias

SEMG, Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia. (2018). *Los trastornos de la conducta alimentaria son la tercera enfermedad crónica más frecuente entre adolescentes*. <https://www.semg.es/index.php/noticias/item/326-noticia-20181130>. Consultado: 11 de mayo de 2023.

Ministerio de Sanidad y Consumo Gobierno de España. (2009). *Guía de Práctica Clínica sobre Trastornos de la Conducta Alimentaria*. ISBN: 978-84-393-8010-8. Consultado: 11 de mayo de 2023.

- NEDA, National Eating Disorders Association. (2022). *Home/Learn/What are eating disorders? Health consequences*. <https://www.nationaleatingdisorders.org/health-consequences>. Accedido: 18 de mayo de 2023.
- ISGlobal Instituto de Salud Global Barcelona. (2023). *Estudio: La Salud Mental en España*. Farmacéuticos. Consejo General de Colegios Farmacéuticos. <https://www.farmaceticos.com/wp-content/uploads/2023/02/2023-Estudio-Salud-Mental-en-Espana.pdf>. Accedido: 18 de mayo de 2023.
- American Psychiatric Association. (2014). *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5*. p. 242-250. ISBN 978-0-89042-551-0. <https://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/Documents/dsm-v-guia-consulta-manual-diagnostico-estadistico-trastornos-mentales.pdf> Accedido: 11 de mayo de 2023.
- ACAB, Associació contra l'Anorèxia i la Bulímia. *Tipos de TCA*. <https://www.acab.org/es/los-trastornos-de-conducta-alimentaria/que-son-los-tca/tipos-de-tca/> Accedido: 11 de mayo de 2023.
- Kuphaldt, T. R. (2008). 9.6: Medición del pH. *Schweitzer Engineering Laboratories via All About Circuits en LibreTexts*. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current> Accedido: 8 de junio de 2023.
- Dorokhov, D., & Kuper, E., & Sheromov, M. (2015). New electronics for an ionization chamber. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 79, 10-14. <https://doi.org/10.3103/S106287381501013X>

---

# Marco para la comunicación de riesgos y crisis: Caso Sudamérica

---

**Juan Carlos Marcillo-Delgado**

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE).

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD)

## Resumen

Una limitante de los marcos contemporáneos para la gestión de riesgos, desastres y emergencias es la poca atención prestada por dichos marcos a la comunicación como instrumento útil para la generación de políticas públicas orientadas a la construcción de sociedades más resilientes a grandes amenazas. El presente documento propone un marco de referencia para la planificación y desarrollo continuo de la comunicación de riesgos y de crisis, tomando como caso de estudio Sudamérica. Esta propuesta está basada en la perspectiva científica, la visión gubernamental y la práctica comunicacional de Sudamérica durante la COVID-19 en el año 2020. De acuerdo con esta propuesta, la comunicación de riesgos y crisis debe contemplar al menos cinco componentes: i) comunicación temprana, ii) fortalecimiento del sistema de comunicación; iii) gestión calidad del comunicado y los comunicadores, iv) gestión del flujo continuo de los comunicados, y v) gestión de la consolidación de actores. La presente propuesta se alinea con el marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres 2015, específicamente con la meta E, la cual busca *incrementar considerablemente el número de países que cuentan con estrategias de reducción del riesgo de desastres a nivel nacional y local*.

## Abstract

The lack of emphasis placed on communication as a valuable tool for the creation of public policies targeted at making societies more resilient to significant risks is a drawback of modern frameworks for risk, disaster, and emergency management. This paper proposes a reference framework for planning and continuous development of risk and crisis communication, taking South America as a case study. This proposal is grounded in the government's planning, scientific viewpoint, and South American communication practices during COVID-19 in 2020. This paper states that risk and

crisis communication needs to take into account a minimum of five factors: i) Early communication, ii) strengthening the communication system, iii) quality management over the communicators and the statement, iv) managing the constant flow of statements, and v) managing the consolidation of actors. This proposal is aligned with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015, specifically with goal E, which seeks to considerably *increase the number of countries that have disaster risk reduction strategies at the national and local levels.*

**Keywords:** Risk communication; crisis communication; framework.

---

## 1. Introducción

El individuo moderno “se concibe a sí mismo como agente transformador del entorno y manipulador de la naturaleza, sometiéndola para satisfacer sus necesidades de sobrevivencia y desarrollo, muchas veces, sin pensar en el impacto que sus acciones tienen para la conservación de la especie humana” (Gasca-Pliego & Olvera-García, 2011).

La gestión de riesgos y de crisis busca una profundización de la democracia, de la participación y el control, por parte de cada uno de los miembros y organizaciones de la sociedad para garantizar la seguridad colectiva (Quinche Martín, 2017). El autodesarrollo durante una crisis, entendido como el compromiso para pensar y decidir por sí mismos, será posible en una sociedad participativa, prudente, que se preocupa por los problemas colectivos y capaz de interesarse de forma continua por los procesos del gobierno (Gasca-Pliego & Olvera-García, 2011).

En este contexto, es importante el uso de instrumentos que ayuden a generar responsabilidad social en la población. Es decir, que la ciudadanía o las empresas se interesen por el impacto de sus decisiones, actividades y conductas en la sociedad y el medio ambiente durante las diferentes fases de una crisis (Gasca-Pliego & Olvera-García, 2011; ISO, 2010). En esta línea, la comunicación de

riesgos y de crisis son formas de comunicación que fomentan que los ciudadanos se interesen, sean más participativos y condescendientes con la solución de problemáticas derivadas de grandes amenazas.

Dentro de los marcos contemporáneos que se preocupan por la sostenibilidad y resiliencia de la sociedad frente a grandes amenazas destacan los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015-2030, el Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030 o la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. La mayoría de países de Sudamérica adoptan sus estrategias de Gestión de Riesgos y Crisis (GR&C) basadas en dichos marcos (SINAGIR, 2018; VIDECI, 2017). Sin embargo, una limitante de estos marcos es la poca atención de estos instrumentos para ayudar a crear políticas públicas y construir una sociedad más resiliente basada en la comunicación (Khan & Mishra, 2022).

Como consecuencia de la falta de marcos que direccionen adecuadamente la comunicación el número de campañas orientadas a la prevención de riesgos, la comprensión de la vulnerabilidad y el sentido de responsabilidad colectiva es muy reducido en la región (Coates, 2021; Miranda Costa, 2017; Nicoli, Florida, Grattagliano, Greco, Muzzetto & Petrini, 2021). Además, existen bajos niveles de interacción entre los gestores de riesgo y la comunidad local para reducir el riesgo (Marín, Vergara-Pinto, Prado & Fariás, 2020).

El objetivo del presente documento es ofrecer un marco de referencia para planificación y desarrollo continuo de la comunicación de riesgos y de crisis en Sudamérica. Esta propuesta está basada en una revisión textual focalizada en las necesidades de los Sistemas de Gestión de Riesgos y Crisis (SGR&C) gubernamentales (Marcillo-Delgado, Alvarez-García & García-Carrillo, 2021b, 2022), la visión científica de la Comunicación de Riesgos y Crisis (CR&C) (Marcillo-Delgado, Alvarez-García & García-Carrillo, 2023), y la práctica comunicacional durante la COVID-19 en el 2020 (Marcillo-Delgado, Álvarez-García & García-Carrillo, 2021a). La presente propuesta se

deriva de la tesis doctoral denominada Marco de referencia para la planificación y desarrollo continuo de la comunicación de riesgos y crisis frente a amenazas en Sudamérica (Marcillo-Delgado et al, 2023).

## **2. Marcos internacionales para orientar la gestión de riesgos y de crisis en el mundo contemporáneo**

### **2.1. Los objetivos de desarrollo sostenible**

La agenda 2030 para el desarrollo sostenible es un marco propuesto en el año 2015, consensuado por presidentes de diferentes países, que fomenta la reducción de los índices de pobreza, el incremento de la paz y de la prosperidad (UN General Assembly, 2015).

La GR&C es ampliamente reconocida por esta agenda. Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) hacen mención a la importancia de la GR&C para el desarrollo sostenible en al menos seis de sus metas. Entre otras cosas, estas metas buscan aumentar la resiliencia de grupos vulnerables, de la vida animal y los asentamientos urbanos ante fenómenos extremos, problemas del cambio climático, productos químicos y contaminantes (UN General Assembly, 2015).

Para lograr la consecución de las metas asociadas a la gestión de riesgos y de crisis se reconoce la importancia que ejercen los sistema de gestión de riesgos y de crisis de todos los países (meta 3.D) y se sugiere que las metas que se encaminen a la GR&C estén alineadas al Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos y Desastres 2015-2030, donde se amplía la GR&C (UN General Assembly, 2015).

Es importante señalar que el reciente reporte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) realizado en el año 2020 reconoce que los esfuerzos globales que se han realizado hasta la fecha no han sido suficientes para alcanzar estas metas, lo que ha puesto en peligro la promesa de la agenda para las generaciones actuales y futuras (UN, 2020).



## **2.2. Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático**

Existen un sinnúmero de amenazas que pueden atentar contra el bienestar del ser humano, pero ninguna es tan preocupante como los efectos del cambio climático, por el peligro que sus efectos potencialmente irreversibles suponen para el ser humano, los animales y el planeta en general (UN, 2015). En esta línea, el acuerdo de París busca mantener los niveles de temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales como una medida para reducir los riesgos y efectos del cambio climático (UN, 2015).

Para llevar a cabo acciones eficaces frente al cambio climático dicho acuerdo reconoce que una comunicación transparente, oportuna y exacta facilitaría la consecución de sus metas (UN, 2015). Sin embargo, a pesar del potencial que la comunicación puede aportar a la resiliencia frente al cambio climático, dicho acuerdo no desarrolla esta temática.

## **2.3. Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres**

El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (MSRRD) 2015-2030 se adoptó en la tercera conferencia mundial de las Naciones Unidas para dar mayor impulso a la labor mundial en materia de gestión de riesgos de desastres (UNISDR, 2015).

Dicho marco se enfoca en cuatro prioridades: comprensión de los desastres, gobernanza del riesgo de desastres, inversión en reducción de riesgos y desastres, y preparación para la respuesta a desastres. Se hace mención a la importancia de la CR&C en las prioridades 1, 2 y 4.

En la comprensión de los desastres (prioridad 1) el marco de MSRRD fomenta la generación de información para comprender el entorno de la tierra y el uso de los medios de comunicación tradicionales y

emergentes como fuentes de apoyo para una CR&C efectiva (UNISDR, 2015).

En la gobernanza del riesgo de desastres (prioridad 2), el MSRRD promueve la comunicación pública de los avances en los planes nacionales y locales (UNISDR, 2015). Además, alienta los debates institucionales orientados a la GR&C entre los legisladores y los funcionarios pertinentes (UNISDR, 2015).

En la preparación para la respuesta y recuperación a desastres (prioridad 4) el MSRRD recomienda (UNISDR, 2015):

- Desarrollar, mantener y fortalecer mecanismos de comunicación de emergencias y riesgos de desastres.
- Desarrollar, mantener y fortalecer tecnologías sociales y sistemas de telecomunicaciones para la supervisión de amenazas.

El MSRRD también recomienda que estos puntos deben desarrollarse mediante un proceso participativo y que los resultados se adapten a las necesidades de los usuarios, tengan en cuenta las particularidades sociales y culturales, sean sencillos, tengan un bajo costo y sean accesibles desde múltiples canales de difusión (UNISDR, 2015).

### **3. Marco metodológico**

El cumplimiento del objetivo propuesto implicó el análisis tres tipos de texto: i) mensajes emitidos vía tweets, ii) planes de gestión de riesgos y de crisis, y iii) publicaciones científicas. Como consecuencia, el método utilizado para el desarrollo de los objetivos utilizó diferentes técnicas cualitativas y cuantitativas, relacionadas con la minería y el análisis textual, afines a la particularidad de cada uno de los datos.

En el presente documento el proceso metodológico implicó las siguientes tres fases: i) selección de los objetos de interés; ii) procesamiento de los objetos de interés, y iii) comprensión de los objetos de interés, siguiendo con (van Eck, 2011). El diagrama

expuesto en la Figura 1, representa de forma simplificada el método utilizado para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

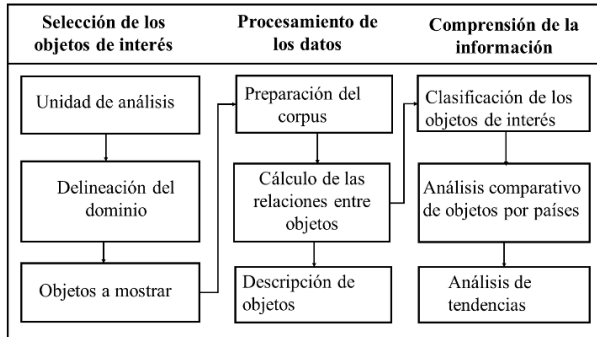


Figura 1. Descripción gráfica del método propuesto.

El método propuesto utilizó metodologías afines al tipo de dato, métodos probados y sustentados sobre la base estadística. El análisis de los datos gubernamentales se efectuó con la técnica denominada Análisis de Datos Cualitativos (Chandra & Shang, 2019). El análisis de datos cualitativos brinda rigor, transparencia y validez a la investigación cualitativa (Chandra & Shang, 2017).

Por otra parte, el análisis de publicaciones científicas se efectuó mediante la técnica VOS provista en el software VOSviewer. La técnica VOS consiste en un método estándar probado e implementado para crear, visualizar y explorar mapas construidos a partir de una red de palabras (van Eck & Waltman, 2020). Se justifica el uso de esta metodología debido a que es ampliamente utilizado en el campo científico para el análisis bibliométrico (Zyouid, 2021). El análisis de la redundancia de palabras más frecuentes permite capturar los elementos clave de la CRD desde el enfoque científico.

Por su parte, el análisis de tweets se efectuó mediante el enfoque de detección de comunidades que ofrece el algoritmo de Louvain para redes ponderadas (Blondel, Guillaume, Lambiotte & Lefebvre, 2008;



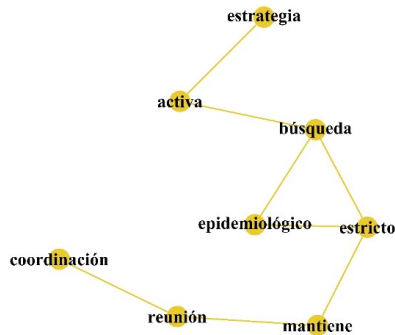


Figura 3. Comunidad de palabras asociada a la comunicación de seguimiento epidemiológico durante la COVID-19. Software utilizado: R. (Marcillo-Delgado et al., 2021a).

Basado en una revisión textual focalizada en las necesidades de los Sistemas de Gestión de Riesgos y Crisis gubernamentales, la visión científica de la CR&C, y la práctica comunicacional durante la COVID-19 en el 2020 se realizan las siguientes propuestas para la potenciación de la CR&C en Sudamérica:

**Componente A.** Planificación de la comunicación temprana de riesgos de desastres y crisis humanitarias:

Mejorar la capacidad de reacción y comunicación temprana del SGR&C. De forma complementaria, se sugiere la implementación de leyes como mecanismo para legitimar la calidad, continuidad, efectividad y pronta respuesta de la comunicación en situaciones de crisis en los SGR&C.

Articular los medios de comunicación, el periodismo y actores importantes de la población al SGR&C.

Priorizar y adecuar audiencias y espacios para comunicar. A nivel de audiencias, con la ayuda del conocimiento científico se recomienda hacer énfasis en la percepción de niños, el grupo que es generalmente más vulnerable en una crisis. Además, enfatizar las minorías sociales y grupos vulnerables como grupos indígenas, mujeres embarazadas, enfermos de VIH, etc.

**Componente B.** Planificación del sistema de comunicación de riesgos y de crisis:

Fortalecer el componente tecnológico de la CR&C como sistemas monitoreo, detección de alertas tempranas, sistemas de información, red de voz y datos. Tomar en cuenta aspectos como: solidez de las tecnologías, sistemas a prueba de fallos, flexibilidad de las herramientas, y tecnología fácil de usar y de código abierto. Enfatizar en la continuidad y resiliencia de la tecnología, especialmente durante la ocurrencia del evento extremo. Hacer énfasis en el monitoreo de parámetros de riesgos, monitoreo espacios sujetos a contaminantes, temporadas de mayor vulnerabilidad a incendios u otro tipo de amenazas.

Asegurar el acceso de los actores correspondientes al flujo de información y comunicación de riesgos y de crisis.

Asegurar la emisión de informes técnicos y documentación sobre la GR&C. En esta línea, se debe acentuar en la comunicación de los impactos de las amenazas, y evitar la omisión de información clave y la generación de vacíos sobre la problemática.

**Componente C.** Planificación de la calidad del comunicado y los comunicadores:

Gestionar el conocimiento local y científico asociado a la Gestión de Riesgos y de Crisis. En esta línea es importante enfatizar la gestión de instrumentos que potencien la CR&C como marcos conceptuales, modelos teóricos, redes de cooperación; abordar el carácter

transdisciplinario de la CR&C e integrar la comunicación científica en las políticas de GR&C.

Gestionar los aspectos técnicos de los comunicados como vocería, lenguaje, forma del mensaje. Poner énfasis en las metas esperadas de la comunicación como cambio de comportamientos, reducción del riesgo, generación de resiliencia, generación de confianza, y en la gestión de la cobertura, el encuadre y el discurso.

Gestionar el rol y la participación de organismos no vinculados directamente al SGR&C que buscan contribuir a la mejora de las condiciones de salud de la población y promover el apoyo comunitario en situaciones de GR&C. Este es el caso de gobiernos de otros países, Organizaciones No Gubernamentales (ONG), líderes comunitarios, líderes indígenas, entre otros.

A nivel de relaciones con organizaciones humanitarias se debe disponer de medidas de contingencia que permitan i) mejorar las relaciones con organizaciones no gubernamentales y que faciliten el ingreso de asistencia humanitaria desde el exterior al país afectado durante una crisis y ii) acceder a entornos violentos que han sido afectados por desastre y que necesitan ayuda humanitaria.

Gestionar la vigilancia de los comunicados de medios públicos y privados. El campo científico sugiere que es muy importante garantizar el derecho y la ética de la comunicación, la calidad y legitimidad de la comunicación y el control de la desinformación.

**Componente D.** Planificación de la sensibilización de riesgos y de crisis:

Garantizar la relevancia, el flujo permanente (emisión, distribución e intercambio), la periodicidad, y el ajuste continuo de los mensajes de riesgos y de crisis.

Garantizar la sensibilización de actores, participación ciudadana/comunitaria y consolidación de fuentes oficiales.

Asegurar la comunicación del riesgo orientada a la salud y el bienestar, recuperación de sectores esenciales y esfuerzos de respuesta institucionales. Poner énfasis en la comunicación para la preservación de la salud y gestión de la prevención mediante comunicados, reconocimiento de la exposición humana y ambiental a contaminantes. Es destacable que como elementos previos a la comunicación se debe reconocer la vulnerabilidad, valorar el riesgo y la percepción del riesgo de los grupos objetivo ante diferentes amenazas.

A nivel de contenido de los comunicados considerar: i) la comunicación del impacto y monitoreo de la amenaza; ii) comunicación de medidas para la disminución del riesgo de la amenaza; iii) visibilidad del carácter multidimensional de la problemática; iv) comunicación de la capacidad del sistema sanitario para enfrentar las amenazas, y v) comunicación de los mecanismos de fortalecimiento de los grupos vulnerables para hacer frente a la amenaza.

**Componente E. Planificación de la consolidación de actores:**

Consolidar el liderazgo comunicacional. El liderazgo es un elemento crucial para gestionar y generar transformaciones en el SGR&C.

Involucrar, comprometer y consolidar actores en una sola voz de respuesta. Se enfatiza en la articulación del sistema de salud al SGR&C que es vital para la recuperación de afectados y el sistema de educación que generalmente se paraliza cuando ocurre una crisis.

Garantizar el acceso a infraestructura de telecomunicaciones mediante relaciones de mutuo beneficio y realizar actos de reconocimiento al desempeño para la GR&C.



## 5. Conclusiones

Las economías más vulnerables a desastres, por lo general están poco preparadas para comunicar y enfrentar amenazas de gran impacto. Actualmente no hay un marco internacional que guíe la comunicación de riesgos y de crisis en el mundo en general, menos aún que guíe la CR&C en economías vulnerables. El marco existente orientado a la GR&C, propuesto en Sendai, no aborda en detalle esta problemática. El presente documento complementa lo estipulado en el marco de Sendai y contribuye a que los diferentes gobiernos de Sudamérica posean una guía base para fortalecer la estrategia de comunicación de riesgos y de crisis.

El presente documento constituye un marco de referencia que sirve para orientar la planificación de estrategias de comunicación de riesgos y de crisis desde la perspectiva de las economías vulnerables a desastres y crisis humanitarias, tomando como caso de estudio los países de Sudamérica. Mediante el uso de técnicas de minería textual y el uso de métodos estadísticos se dilucidó las principales estrategias y aspectos que se deben considerar para que las comunicaciones sean más efectivas en situaciones de riesgo, desastres y crisis humanitarias en países de Sudamérica.

## Referencias

- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
- Chandra, Y., & Shang, L. (2017). An RQDA-based constructivist methodology for qualitative research. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 20(1), 90-112. <https://doi.org/10.1108/QMR-02-2016-0014>
- Chandra, Y., & Shang, L. (2019). Qualitative Research Using R: A Systematic Approach. In *Qualitative Research Using R: A Systematic Approach*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3170-1>
- Coates, R. (2021). Educational hazards? The politics of disaster risk education in Rio de Janeiro. *Disasters*, 45(1), 86-106. <https://doi.org/10.1111/disa.12399>

- Gasca-Pliego, E., & Olvera-García, J. C. (2011). Construir ciudadanía desde las universidades, responsabilidad social universitaria y desafíos ante el siglo XXI. *Convergencia*, 18, 37-58. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-14352011000200002&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352011000200002&nrm=iso)
- Irsyad, A., & Rakhmawati, N. A. (2020). Community detection in twitter based on tweets similarities in Indonesian using cosine similarity and louvain algorithms. Register: *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 6(1), 22-31. <https://doi.org/10.26594/register.v6i1.1595>
- ISO. (2010). *Guidance on social responsibility* (Vol. 2010). Geneva, CH.
- Khan, S., & Mishra, J. (2022). Critical gaps and implications of risk communication in the global agreements---SFDRR, SDGs, and UNFCCC: 3 select case studies from urban areas of tropics in South Asia. *Natural Hazards*, 111(3), 2559–2577. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05148-z>
- Marcillo-Delgado, J. C. (2023). *Marco de referencia para la planificación y desarrollo continuo de la comunicación de riesgos y crisis frente a amenazas en Sudamérica*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Marcillo-Delgado, J. C., Alvarez-Garcia, A., & García-Carrillo, A. (2021a). Analysis of risk and disaster reduction strategies in South American countries. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61, 102363. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102363>
- Marcillo-Delgado, J. C., Álvarez-García, A., & García-Carrillo, A. (2021b). Análisis de tweets oficiales emitidos el año 2020, durante la COVID-19, en Sudamérica en el marco de la salud pública. *Asociación Española de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO)*, 166, 2054-2070.
- Marcillo-Delgado, J. C., Alvarez-Garcia, A., & García-Carrillo, A. (2022). Communication strategies on risk and disaster management in South American countries. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 76, 102982. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102982>
- Marcillo-Delgado, J. C., Alvarez-Garcia, A., & García-Carrillo, A. (2023). Bibliometric mapping of the trends and contributions of scientific publications to risk and crisis communication regarding South America. *Sustainable Environment*, 9(1), 2254145.
- Marín, A., Vergara-Pinto, F., Prado, F., & Farías, C. (2020). Living near volcanoes: Scoping the gaps between the local community and volcanic experts in southern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 398, 106903. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106903>

- Miranda Costa, L. (2017). They didn't understand...: The failure of the information campaigns to prevent forest fires in the Brazilian Amazon. *Espacio Abierto*, 26(2), 83–97. Retrieved from <https://produccioncientificaluz.org/index.php/espacio/article/view/22811>
- Nicoli, F., Florida, G., Grattagliano, I., Greco, D., Muzzetto, P., & Petrini, C. (2021). Vulnerability and ethical issues faced by general practitioners during the COVID-19 pandemic in Italy: some reflections and lessons learned. *Journal of Primary Health Care*, 13(2), 102-105. <https://doi.org/10.1071/HC20138>
- Quinche Martín, F. L. (2017). Una mirada crítica a las teorías predominantes de la responsabilidad social corporativa. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 25(2), 159–178. <https://doi.org/10.18359/rfce.3071>
- Silge, J., & Robinson, D. (2017). Text Mining with R: A Tidy Approach. Retrieved from <https://books.google.es/books?id=qNcnDwAAQBAJ>
- SINAGIR. (2018). *National Plan for Disaster Risk Reduction 2018-2023. Plan nacional para la reducción del riesgo de desastres 2018-2023*. Buenos Aires.
- UN. (2015). CP.21. *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. <https://doi.org/10.5377/cultura.v21i67.2496>
- UN. (2020). *The Sustainable Development Goals Report 2020*.
- UN General Assembly. (2015). *Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development United Nations United Nations*. In United Nations. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/>
- UNISDR. (2015). Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030. A/CONF., 224, 25. Retrieved from [https://www.uclg.org/sites/default/files/sendai\\_framework\\_for\\_disaster\\_risk\\_reduction\\_2015-2030.pdf](https://www.uclg.org/sites/default/files/sendai_framework_for_disaster_risk_reduction_2015-2030.pdf)
- van Eck, N. J. (2011). *Methodological advances in bibliometric mapping of science*. ERIM Ph.D. Series Research in Management.
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2020). *VOSviewer manual. Manual for VOSviewer Version, 1(0)*.
- VIDECI. (2017). *National risk management program Vice Ministry of Civil Defense. Programa nacional de gestión de riesgos Viceministerio de Defensa Civil*. Retrieved from <http://www.defensacivil.gob.bo/web/uploads/pdfs/PNGRD2017.pdf>
- Zyoud, S. H. (2021). The Arab region's contribution to global COVID-19 research: Bibliometric and visualization analysis. *Globalization and Health*, 17(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s12992-021-00690-8>

---

## Viabilitats de fabricació additiva amb cel·lulosa: Breu estat de l'art en Impressió 3D i estratègies futures

---

### **Cesc Mestres-Domènech**

ESEIAAT. CELBIOTECH Grup de Recerca d'Enginyeria Paperera  
Elisava. Facultat de Disseny i Enginyeria de Barcelona (UVic-UCC)

### **Blanca Roncero Vivero**

ESEIAAT. CELBIOTECH Grup de Recerca d'Enginyeria Paperera

### **Marta González Colominas**

Elisava. Facultat de Disseny i Enginyeria de Barcelona (UVic-UCC)

### **Resum**

En aquesta última dècada han succeït una sèrie d'avenços rellevants en fabricació additiva, coneguda com a impressió 3D, crucials per a la innovació de la indústria. No només en tecnologies per a la impressió 3D, si no també creixent en viabilitats de nous materials a fabricar. La present publicació pretén donar una visió bàsica de les viabilitats de fabricació additiva amb cel·lulosa. Aquest interès és fruit d'una de les línies de recerca de CELBIOTECH i que s'estan duent a terme en el marc de la tesis doctoral que està desenvolupant l'autor. Addicionalment, es presenten alhora els avenços que estan succeïnt en dues línies noves de fabricació additiva: la impressió 4D, referent a materials intel·ligents, i la impressió 5D, referent a la inclusió d'un cinquè eix en els equips d'impressió.

### **Abstract**

In the past decade, significant advances in additive manufacturing, commonly known as 3D printing, have emerged as crucial drivers of innovation in the industry. These advancements not only encompass technologies for 3D printing but also extend to the feasibility of utilizing new materials in the manufacturing process. This publication aims to provide a basic overview of the possibilities of additive manufacturing with

cellulose. This interest stems from one of the research lines at CELBIOTECH, currently being explored within the framework of the author's ongoing doctoral thesis. Additionally, the article introduces progress in two emerging lines of additive manufacturing: 4D printing, focusing on intelligent materials, and 5D printing, involving the incorporation of a fifth axis in printing equipment.

---

## 1. Introducció

No hi ha cap dubte que la cel·lulosa és un element força abundant en el planeta, alhora que esdevé uns dels majors residus provinents de la massa forestal, que justament obtenim com a cel·lulosa i que el fa un material molt interessant en estratègies de sostenibilitat (Finny, Popoola & Andreescu, 2021; Liu, Sun, Xu, Wang, Yu & Sun, 2019; Wang, Sun, Yao, Ji, Liu & Zhu, 2018). Adicionalment, cal esmentar que la cel·lulosa té altres propietats molt interessants com la resistència mecànica, la biocompatibilitat o la biodegradabilitat (Kuhnt & Camarero-Espinosa, 2021; Lafuente-Merchan, Ruiz-Alonso, Zabala, Galvez-Martin, Marchal, Vazquez-Lasa et al., 2022; Lamm, Wang, Kishore, Tekinalp, Kunc, Wang et al., 2020; Mariani, Johnson, Considine & Turner, 2019; Randhawa, Dutta, Ganguly, Patil, Patel & Lim, 2022). Propietats que actualment estan al focus en recerca i desenvolupament en camps com la medicina i bioenginyeria, l'electrònica, tèxtil o l'embalatge. De fet, la indústria paperera ha desenvolupat i innova en processos des de fa molts anys, en diferents formes de transformar la cel·lulosa, en productes per a donar solucions en els anteriors sectors abans esmentats. Val a dir que, un dels processos industrials de tendència i emergents a la indústria 4.0 és la fabricació additiva, molt instaurada a la indústria per a transformació de polímers i metalls, però menys habitual en la transformació de cel·lulosa. En aquesta publicació es pretén posar en ressò l'estat de l'art de la fabricació additiva en cel·lulosa, donat que forma part d'una de les línies de recerca de CELBIOTECH en el marc de la tesis doctoral de l'autor.

## 2. Nanocel·lulosa

L'interès en la recerca es basarà en la nanocel·lulosa, per la importància en que es troba actualment el material, tan en recerca com en desenvolupament, dins de diferents aplicacions a la indústria. Es proposa des de CELBIOTECH considerar i caracteritzar els materials de nanocel·lulosa en els seus dos grans tipus categoritzats per les estructures que els formen. A continuació, s'expliquen les principals tipologies i aplicacions.

### 2.1. Nanocel·lulosa cristal·lina

La nanocel·lulosa cristal·lina (CNC, de l'acrònim anglès: Cellulose Nanocrystals) és un tipus de nanocel·lulosa amb una estructura molt cristal·lina i amb dimensions de 3-10nm d'amplada i amb una relació d'aspecte menor de 50. Aquest tipus de nanocel·lulosa normalment s'obté per processos d'hidròlisi àcida. En la Figura 1 es pot veure un exemple de producte fabricat amb CNC, material comercialitzat per la companyia CelluForce, qui ajuda a fabricants de producte a la millorar la petjada ambiental amb la utilització dels seus materials.

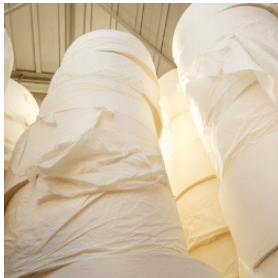


Figura 1. Paper i teixits no teixits CelluForce NCC (Nanocellulose & Nanocrystalline Cellulose Supplier, s.d.)

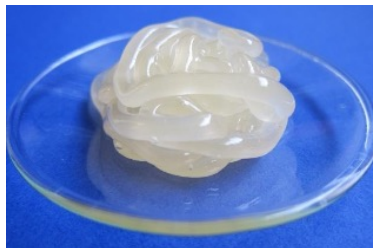


Figura 2. Cel·lulosa fibril·lar FORNAX T15M (Aidanano, s.d.)

## 2.2. Nanocel·lulosa fibril·lar

La nanocel·lulosa fibril·lar (CNF, de l'acrònim anglès: Cellulose Nanofiber) conté tant regions cristal·lines com amorfes, i normalment té dimensions de 5-30nm d'amplada i una relació d'aspecte major de 50. S'obté principalment a través de processos mecànics. En la Figura 2 es pot observar una mostra de material CNF d'aspecte gelatinós i translúcid, probablement per les estructures amorfes, comercialitzat com a FORNAX T15M per la companyia Aidanano.

## 2.3. Cel·lulosa bacteriana

A diferència de les anteriors, que són d'origen vegetal, la següent es forma de la síntesis de cel·lulosa a partir de bactèries (Finny et al., 2021; Gregory, Tripathi, Fricker, Asare, Orlando, Raghavendran & Roy, 2021; Kumar & Han, 2021; Randhawa et al., 2022). La cel·lulosa bacteriana (BC, de l'acrònim en anglès Bacterial Cellulose) s'obté a partir de certs microorganismes que són capaços de sintetitzar cel·lulosa a partir del monòmer de glucosa, formant una estructura amb una elevada puresa i propietats molt interessants. La Figura 3 és una mostra de matèria prima de BC que la companyia Polybion comercialitza a partir de biomaterials resultat de residus de fruites, concretament FOAK I és una alternativa al cuir industrial fabricat a partir de la BC.



Figura 3. Cel·lulosa bacteriana FOAK I (Polybion, s.d.)

## 2.4. Aplicacions a la indústria de nanocel·lulosa

Degut a les seves propietats mecàniques i físiques molt notables, gràcies a la particularitat estructural i mida nano-mètrica, el fa molt interessant en àrees industrials i potencials aplicacions en productes de CNC, CNF i BC . De les dues primeres, es destaquen aplicacions

per a fabricació de materials compostos com a reforç amb altres categories de materials millorant la resistència i rigidesa (Balea, Fuente, Blanco & Negro, 2019), desenvolupament de films i recobriments a través de la formació de pel·lícules primes i recobriments amb propietats barrera (Fernández-Santos, Valls, Cusola & Roncero, 2021), additius en materials per a la construcció, per millorar la seva resistència i durabilitat com a compost d'altres ceràmics, com pot ser el formigó, aplicacions biomèdiques, degut a la seva biocompatibilitat, s'utilitza com a bastides per cultius de teixits i altres materials per l'enginyeria mèdica (Immonen, Lahtinen & Pere, 2017; Kuhnt & Camarero-Espinosa, 2021; Kumar & Han, 2021; Lafuente-Merchan et al., 2022), i en electrònica flexible, degut sobretot per les seves propietats flexibles, conductivitat i transparència (Brooke, Fall, Borrás, Yilma, Edberg, Martínez-Crespiera et al., 2021; Jain, Wang, Garma, Engel, Ciftci, Fager et al., 2023). En el cas particular de la BC es detallen àrees industrials i aplicacions en productes per a biotecnologia mèdica, per la seva biocompatibilitat i retenció de líquids, tan per la fabricació d'apòsits i bandatges, així com l'ús en enginyeria de regeneració de teixits i òrgans (Cai, Chang, Gan, Ma, Lu & Yen, 2022; Gona & Meyer, 2020), productes alimentaris, per la seva propietat biodegradable, com a embolcalls més sostenibles (Escursell, Llorach-Massana & Roncero, 2021), però també com a agents en els mateixos productes alimentaris, en la indústria tèxtil, per la seva resistència i flexibilitat com a fibra, per la producció de fibres tèxtils (Liu et al., 2019), materials biomèdics, igual com s'ha esmentat anteriorment, gràcies a les seves propietats bio-compatibles, en aplicacions de medicina regenerativa de cèl·lules i teixits, així com en producció de dispositius mèdics, implants i sutures (Kumar & Han, 2021), i en electrònica flexible, similar que els anteriors materials, degut a la seva alta transparència i capacitat de retenció d'aigua, s'utilitza per a dispositius flexibles com pantalles i sensors.



### 3. Fabricació additiva industrial

Entre les tecnologies emergents que estan canviant la indústria, es destaca la fabricació additiva. Sense oblidar d'altres també molt presents a la indústria 4.0, fonament de la digitalització de les fàbriques i cap a on succeeix el futur de la indústria, com són la intel·ligència artificial, el internet de les coses, la robòtica, el big-data, la nano-tecnologia, els biomaterials, etc. (Schwab, 2017). La fabricació additiva, també anomenada prototipat ràpid, es coneix molt més des de l'última dècada com a impressió 3D, tot i que és una tecnologia que té un recorregut de més de trenta anys. De fet, la primera patent per a un dispositiu d'impressió 3D va ser sol·licitat per el Dr. Hideo Kodama l'any 1981 (impresoras3d.com, 2023). El concepte és molt ràpid "des del disseny a la fabricació". Tracte de resoldre el disseny d'un model o conjunt 3D digital amb software de disseny assistit per ordinador (CAD, de l'acrònim *Computed Aided Design*), transferir el model digital a llenguatge de màquina, el que s'anomena codi de control numèric, perquè amb programari de màquina específic pugui resoldre les instruccions i paràmetres de fabricació a la màquina per a la impressió. Aquestes instruccions, bàsicament són els patrons de seccions transversals que defineixen capes a partir de coordenades X,Y i altres paràmetres de màquina com l'alçada de capa, coordenada o increments de Z, temperatures de base de màquina, temperatura de material a capçal, paràmetres de làser, fotopolimerització, etc., segons la tecnologia aplicada,. En aquest sentit, existeixen tres principals tecnologies base amb les que s'estan evolucionant tots els equips de fabricació additiva, tan industrials com domèstics. Aquestes tecnologies són la estereolitografia, el sinteritzat làser i la deposició de material, entre d'altres, tal i com es detalla a la Taula 1.

VIABILITATS DE FABRICACIÓ ADDITIVA AMB CEL·LULOSA: BREU ESTAT DE L'ART EN IMPRESSIÓ 3D I ESTRATÈGIES FUTURES

<b>Categoria</b>	<b>Tecnologia de fabricació additiva</b>	<b>Procés additiu</b>	<b>Materials</b>
Fotopolimerització	SLA Stereolithography	Curat amb làser	Polímers
	DLP Digital Light Processing	Curat amb projector	Polímers
	CDLP Continuous Digital Light Processing	Curat amb LED i oxigen	Polímers
Extrusió de material	FDM Fused Deposition Modeling	Deposició de capes de material fos	Polímers Compostos
Projecció de material	MJ Material Jetting	Curat amb llum UV	Polímers
	NPJ Nano Particle Jetting	Curat amb temperatura	Metalls
	DOD Drop On Demand	Fresat per forma	Ceres
Injecció d'aglutinant	BJ Binder Jetting	Fusió per agent aglutinant	Metalls Ceràmics
Fusió de pols	MJF Multi Jet Fusion	Fusió de pols amb agent i energia	Polímers
	SLS Selective Laser Sintering	Fusió amb làser	Polímers
	DMLS / SLM Direct Metal LAser Sintering Selective Laser Melting	Fusió amb làser	Metalls
	EBM Electron Beam Melting	Fusió amb electròdes	Metalls
Deposició directe per energia	LENS Laser Engineering Net Shape	Fusió amb làser	Metalls
	EBAM Electron Beam Additive Manufacturing	Fusió amb electròdes	Metalls
Laminació additiva	LOM Laminated Object Manufacturing	Laminació per capes	Compostos Paper

Taula 1. Tecnologies de fabricació additiva (Hubs | On-Demand Manufacturing, s.d.)

### 3.1. Estereolitografia

La estereolitografia és una tecnologia de fabricació additiva coneguda com a SLA, de l'acrònim de Stereolithography. Tracte de resoldre objectes 3D a partir de la solidificació de capes de resina líquida continguda en un dipòsit (cubeta) a partir d'un làser de llum ultraviolat. Utilitza materials termoenduribles que a determinades longitud d'ones de la llum, s'uneixen molecularment polimeritzant en geometries rígides o flexibles solidificades. Cal utilitzar post-processos de curat i neteja de geometries de suport, tot i que la SLA s'ha popularitzat moltíssim, donat la seva precisió i acabats directes de fabricació, així com la seva isotropia de l'objecte imprès. En la següent Figura 4 es mostra l'actual equip Formlabs d'impressió 3D amb tecnologia SLA hereu de la primera impressora 3D que van construir l'any 2011 tres estudiants de postgrau del Massachusetts Institute of Technology (MIT).



Figura 4. Impressora SLA Formlabs (High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals, s.d.)

### 3.2. Sinteritzat làser

El sinteritzat làser és una tecnologia de fabricació additiva coneguda com SLS del seu acrònim de Selective Laser Sintering. El procés de sinterització selectiva per làser utilitza una base de pols de material que es va dipositant en una cubeta per capes, on el làser traça un patró per a cada secció transversal



Figura 5. Multi Jet Fusion HP (Tecnologia MJF de impresión 3D de HP, s.d.)

fins a completar el procés quan s'han generat totes les capes per construir l'objecte. En aquests equips, l'objecte imprès queda solidificat i immers dins la cubeta de pols que no s'ha solidificat, podent reutilitzar-la per altres fabricacions. La gamma de materials, sobretot polimèrics i metàl·lics, que ofereix aquests tipus de tecnologia donen una opció excel·lent per productes de compromís mecànic per aplicacions funcionals. En la següent Figura 5 s'observa el procés de netejat de les peces fabricades amb Poliamida (PA12) mitjançant la tecnologia Multi Jet Fusion de la companyia HP Printing and Computing Solutions (HP).

### 3.3. Deposició de material

La deposició de material, per la tipologia d'equips que es troben en el mercat, és una tecnologia d'abast industrial i sovint domèstic. Aquest segon cas, és conegut com a impressores 3D de sobretaula. La fabricació additiva per deposició de material, tracte d'anar dipositant per capes material fos de polímer que es van distribuint en seccions transversals per cada una d'aquestes capes en X/Y, avançant en Z, l'alçada de capa, per anar construint una figura tridimensional. L'estratègia de fabricació és exactament igual com un centre de control numèric (NC) de 2 eixos i ½ en fabricació substractiva, però en aquest cas és additiva. Una de les tecnologies més comuns a la indústria de fabricació additiva per deposició de material és la *Fused Deposition Modeling* (FDM), en el que s'utilitzen filaments de polímers i alguns compostos, tal i com es detalla a la Taula 1, i que es van fonen i solidificant en aquestes capes transversals. Justament en la



Figura 6. Fabricació per fusió FDM (Zortrax: Professional 3D Printing Solutions for Rapid Manufacturing, s.d.)

Figura 6 es mostra un equip d'impressió 3D que utilitza tecnologia FDM, on es pot veure una peça resolta amb 3D (material de color vermell) i el material de suport soluble (material de color blanc) que comercialitza la companyia Zortrax.

#### **4. Impressió 3D amb cel·lulosa**

En el marc de la fabricació additiva o la impressió 3D amb materials base cel·lulosa, i molt més concretament de nanocel·lulosa, existeixen avenços relativament recents (Diab & El-Sakhawy, 2022; Ee & Li, 2021; Finny et al., 2021). Com s'esmentava al principi d'aquesta publicació, hi ha un interès especial en poder transformar també emergents nanomaterials de cel·lulosa extrets per exemple de la biomassa de l'agricultura amb productes, i fugir cada cop més de recursos fòssils menys sostenibles. En aquest sentit, han començat a sorgir estudis i viabilitats industrials on la nanocel·lulosa sigui imprimible en 3D per donar solució a diferents aplicacions en camps com s'esmentava en l'apartat **2.4. Aplicacions a la indústria de nanocel·lulosa**, i amb un interès molt més concret en camps com la biomedicina, l'electrònica o conceptes afins com el food-packaging (Diab & El-Sakhawy, 2022; Ghazal, Zhang, Mujumdar & Gramry, 2023).

##### **4.1. Viabilitat de la nanocel·lulosa per a impressió 3D**

Val a dir però, que actualment la viabilitat de la fabricació additiva és complexa per varis motius. I així ho esmenten moltes de les publicacions recents relacionades amb la impressió 3D amb CNF, CNC i BC (Finny et al., 2021; Jain et al., 2023; Klar, Pere, Turpeinen, Karki, Orelma & Kuosmanen, 2019). Principalment perquè la imprimibilitat en 3D depèn fortament de la reologia dels materials, així com la consistència de la polimerització. En aquest sentit, segurament s'ha de resoldre millor la viscoelasticitat de la nanocel·lulosa per fer-la adequada per a la impressió amb una proporció amb altres elements que, com s'ha vist a la majoria de publicacions, en el millor dels casos no arriba a un 20 % en massa de

CNF o CNC. Per tan, en la majoria del casos, el material de cel·lulosa d'origen necessita un pre-tractament amb addició d'altres components, que a vegades no són d'origen vegetal, per fer-lo més viscoelàstic. Per citar alguns exemples, el xilan-tiramina amb CNF presenta una capacitat d'imprimibilitat interessant per a la l'enginyeria de teixits (Cai et al., 2022) o l'ús d'altres hidrogels per a la fabricació per deposició de material per a la reconstrucció de teixits també amb CNF (Dairaghi, Rogozea, Cadle, Bustamante, Moldovan, Petrache et al., 2022; Jusoh, Sajab, Abdul & Kaco, 2022; Tang, Wang, Zhao & Liu, 2018). La utilització de compostos polimèrics com l'àcid polilàctic (PLA) amb CNC és una altre via de solucions, que per exemple amb un 20 % en massa de CNC, ofereix una oportunitat d'impressió 3D òptima (Ilyas, Sapuan, Harussani, Hakimi, Haziq, Atikah et al., 2021; Immonen et al., 2017; Tekinalp, Lu, Kunc, Duty, Love, Peter, 2016; Wang et al., 2018).

#### **4.2. Viabilitat de tecnologies d'impressió 3D per a nanocel·lulosa**

Abans d'anomenar les tecnologies d'impressió 3D més viables per a fabricació de productes amb cel·lulosa, cal esmentar les principals limitacions en que es troba la tecnologia amb aquests materials. Una de les limitacions principals esdevé per el seu escàs estat de fluïdesa del material quan es troba semi-líquid. Que en tecnologies com la FDM és un problema molt rellevant, així com la seva descomposició tèrmica (Diab & El-Sakhawy, 2022). Alhora, amb altres tecnologies com la impressió directe (DIW) la reologia del material és complicada per la mecànica dels broquets de deposició dels equips 3D, ja que sovint s'obstrueixen. Però segurament un dels principals problemes que presenten aquests materials durant la seva fabricació i solidificació és la propietat hidrofílica que presenten, que apart de la complexitat en la solidificació, també presenten un problema estructural, tal i com es comenta a continuació. Algunes de les tecnologies d'impressió 3D necessiten de material de suport per a fabricació de geometries que es troben en voladís, ja que durant la impressió, quan encara no estan perfectament solidificades, es poden



Figura 7. BIO X6 bioprinter 3D. (CELLINK, s.d.)

deformar per la mateixa gravetat. Normalment, aquestes geometries de suport es fabriquen amb el mateix material amb unes característiques geomètriques que les fan fàcil despendre d'elles en un post-procés, o utilitzen la mateixa pols del material no impresa com a suport, en el cas de la fabricació SLS, material líquid no fotopolimeritzat, en el cas de la SLA, o amb materials justament solubles. És a dir, que un cop fabricada la peça, si es submergeix en aigua, els suports es dissolen fàcilment, obtenint la geometria final fabricada sense aquests suports.

En qualsevol cas, publicacions recents presenten l'estat actual de fabricació additiva de cel·lulosa. Segurament, els processos de deposició de material fos FDM o de deposició directe DIW són els més habituals, tot i que existeixen avenços amb SLA, com per exemple l'ús d'olis vegetals compostats amb nanocel·lulosa per utilitzar-los com a matèria prima per produir resines per SLA (Barkane, Jurinovs, Briede, Platnieks, Onufrijevs, Zelca et al., 2022; Mohan, Sajab, Kaco, Bakarudin & Mohamed Noor, 2019; Mohan, Teong, Bakir, Sajab, Kaco, 2020). La deposició de material en el camp de la bioenginyeria és molt habitual en materials orgànics, tot i que és

cert que sovint requereixen una comptabilització i estabilització de la nanocel·lulosa composta amb polímer abans d'imprimir. Com es mostra en la Figura 7, BIO X6 és un equip de bioimpresió 3D de sis capçals per poder aconseguir estructures fabricades més complexes per l'ús de diferents biomaterials. Aquests equips DIW i materials a disposició són comercialitzats per la companyia Cellink.

Si dels dos processos anteriors és assolible una impressió de geometria amb una incorporació de nanocel·lulosa màxim d'un 20 % en pes, les següents tecnologies d'impressió digital per llum (DLP) i la estereolitografia (SLA), no arriben a una impressió òptima amb incorporació de més d'un 2 % de CNF composta amb les resines de fotopolimerització. Addicionalment, succeeixen dificultats de control de la polimerització a través de la llum (DLP) o el làser (SLA), apareixien porositats en la construcció de les geometries (Ee & Li, 2021). Una tercera tecnologia que s'està investigant viabilitats, i que és molt similar a la FDM o DIW, és la Inkjet 3D i la SLS. La impressió és molt anàloga a una impressora convencional que reacciona amb un reactiu sobre una pols de material per capes o fusiona la mateixa pols per sinteritzat, en el segon cas, però pel que sembla, aquestes dues tecnologies no existeixen avenços rellevants en la incorporació de nanocel·lulosa en els materials, sobretot per que requereixen d'uns post-processats a base de temperatura per curar les geometries i estabilitzar-les. Conseqüentment, aquests post-tractaments són extremadament crítics per aconseguir una consistència en materials amb estructures de base cel·lulosa, apart de la seva concurrència amb les propietats hidrofíliques que presenten. En aquest sentit, és òptim entendre que la majoria d'experiments amb nanocel·lulosa no succeeixen en 100 % en pes del material.

## **5. Estratègies futures per a Impressió 3D amb cel·lulosa**

Tal i com s'esmentava al inici d'aquesta publicació, és cert que existeixen importants avenços sobre fabricació additiva de cel·lulosa, entesa com a impressió 3D, però encara hi han mancances enteses



en la viabilitat d'utilització de materials 100 % cel·lulosa. En paral·lel a aquesta línia de recerca, apareixen dues tecnologies de futur interessants, que són la impressió 4D i la impressió 5D (Ghazal et al., 2023; Khalid, Arif, Noroozi, Hossain, Ramakrishna & Umer, 2023; Pugliese & Regondi, 2022; Srivastava, Pandey, Singh & Dar, 2023), i amb el que s'està focalitzant la recerca actualment i on es pretén cercar viabilitats d'ambdues tecnologies per fabricar nanocel·lulosa.

## Referències

- Aidanano. (s.d.). *AIDANANO*. Recuperat 15 desembre 2023, de <https://aidanano.com/>
- Balea, A., Fuente, E., Blanco, A., & Negro, C. (2019). Nanocelluloses: Natural-Based Materials for Fiber-Reinforced Cement Composites. A Critical Review. *Polymers*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/polym11030518>
- Barkane, A., Jurinovs, M., Briede, S., Platnieks, O., Onufrijevs, P., Zelca, Z. et al. (2022). Biobased Resin for Sustainable Stereolithography: 3D Printed Vegetable Oil Acrylate Reinforced with Ultra-Low Content of Nanocellulose for Fossil Resin Substitution. *3D Printing and Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1089/3dp.2021.0294>
- Brooke, R., Fall, A., Borrás, M., Yilma, D. B., Edberg, J., Martínez-Crespiera, S., Aulin, C., & Beni, V. (2021). Nanocellulose based carbon ink and its application in electrochromic displays and supercapacitors. *Flexible and Printed Electronics*, 6(4). <https://doi.org/10.1088/2058-8585/ac3ddb>
- Cai, Y. L., Chang, S. Y., Gan, S. W., Ma, S., Lu, W. F., & Yen, C. C. (2022). Nanocomposite bioinks for 3D bioprinting. *Acta Biomaterialia*, 151, 45-69. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.08.014>
- CELLINK. (s.d.). *Cellink a bico company*. *Cellink*. Recuperat 15 desembre 2023, de <https://www.cellink.com/>
- Dairaghi, J., Rogozea, D., Cadle, R., Bustamante, J., Moldovan, L., Petrache, H. I., & Moldovan, N. I. (2022). 3D Printing of Human Ossicle Models for the Biofabrication of Personalized Middle Ear Prostheses. *Applied Sciences-Basel*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/app122111015>
- Diab, M. A., & El-Sakhawy, M. (2022). Three-Dimensional (3D) Printing based on Cellulosic Material: A review. *Cellulose Chemistry and Technology*, 56(1-2), 147-158. <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2022.56.14>

- Ee, L. Y., & Li, S. F. Y. (2021). Recent advances in 3D printing of nanocellulose: Structure, preparation, and application prospects. *Nanoscale Advances*, 3(5). <https://doi.org/10.1039/d0na00408a>
- Escursell, S., Llorach-Massana, P., & Roncero, M. B. (2021). Sustainability in e-commerce packaging: A review. *Journal of Cleaner Production*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124314>
- 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 & Engineering*, 9(29), 9647-9660. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c09109>
- Finny, A. S., Popoola, O., & Andreescu, S. (2021). 3D-Printable Nanocellulose-Based Functional Materials: Fundamentals and Applications. *Nanomaterials*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/nano11092358>
- Ghazal, A. F., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Ghamry, M. (2023). Progress in 4D/5D/6D printing of foods: Applications and R&D opportunities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(25), 7399-7422. Scopus. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2045896>
- Gona, R. S., & Meyer, A. S. (2020). Engineered proteins and three-dimensional printing of living materials. *MRS Bulletin*, 45(12), 1034-1038. <https://doi.org/10.1557/mrs.2020.298>
- Gregory, D. A., Tripathi, L., Fricker, A. T. R., Asare, E., Orlando, I., Raghavendran, V., et al. (2021). Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications. *Materials Science & Engineering R-Reports*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100623>
- High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals. (s.d.). *Formlabs*. Recuperat 15 desembre 2023, de <https://formlabs.com/>
- Hubs | On-demand Manufacturing: Quotes in Seconds, Parts in Days. (s.d.). *Hubs*. Recuperat 15 desembre 2023, de <https://www.hubs.com/>
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Harussani, M. M., Hakimi, M., Haziq, M. Z. M., Atikah, M. et al. (2021). Polylactic Acid (PLA) Biocomposite: Processing, Additive Manufacturing and Advanced Applications. *Polymers*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/polym13081326>
- Immonen, K., Lahtinen, P., & Pere, J. (2017). Effects of surfactants on the preparation of nanocellulose-PLA composites. *Bioengineering*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/bioengineering4040091>

- impresoras3d.com. (2023, febrer 8). *Breve Historia de la impresión 3D*. impresoras3d.com. <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>
- Jain, K., Wang, Z., Garma, L. D., Engel, E., Ciftci, G. C., Fager, C. et al. (2023). 3D printable composites of modified cellulose fibers and conductive polymers and their use in wearable electronics. *Applied Materials Today*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2022.101703>
- Jusoh, W., Sajab, M. S., Abdul, P. M., & Kaco, H. (2022). Recent Advances in 3D Bioprinting: A Review of Cellulose-Based Biomaterials Ink. *Polymers*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/polym14112260>
- Khalid, M. Y., Arif, Z. U., Noroozi, R., Hossain, M., Ramakrishna, S., & Umer, R. (2023). 3D/4D printing of cellulose nanocrystals-based biomaterials: Additives for sustainable applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126287>
- Klar, V., Pere, J., Turpeinen, T., Karki, P., Orelma, H., & Kuosmanen, P. (2019). Shape fidelity and structure of 3D printed high consistency nanocellulose. *Scientific Reports*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40469-x>
- Kuhnt, T., & Camarero-Espinosa, S. (2021). Additive manufacturing of nanocellulose based scaffolds for tissue engineering: Beyond a reinforcement filler. *Carbohydrate Polymers*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117159>
- Kumar, A., & Han, S. S. (2021). Efficacy of Bacterial Nanocellulose in Hard Tissue Regeneration: A Review. *Materials*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/ma14174777>
- Lafuente-Merchan, M., Ruiz-Alonso, S., Zabala, A., Galvez-Martin, P., Marchal, J. A., Vazquez-Lasa, B., Gallego, I., Saenz-del-Burgo, L., & Pedraz, J. L. (2022). Chondroitin and Dermatan Sulfate Bioinks for 3D Bioprinting and Cartilage Regeneration. *Macromolecular Bioscience*, 22(3). <https://doi.org/10.1002/mabi.202100435>
- Lamm, M. E., Wang, L., Kishore, V., Tekinalp, H., Kunc, V., Wang, J. W. et al. (2020). Material Extrusion Additive Manufacturing of Wood and Lignocellulosic Filled Composites. *Polymers*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/polym12092115>
- Liu, J., Sun, L. S., Xu, W. Y., Wang, Q. Q., Yu, S. J., & Sun, J. Z. (2019). Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. *Carbohydrate Polymers*, 207, 297-316. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.077>

- Mariani, L. M., Johnson, W. R., Considine, J. M., & Turner, K. T. (2019). Printing and mechanical characterization of cellulose nanofibril materials. *Cellulose*, 26(4), 2639-2651. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02247-w>
- Mohan, D., Sajab, M. S., Kaco, H., Bakarudin, S. B., & Mohamed Noor, A. (2019). 3D Printing of UV-Curable Polyurethane Incorporated with Surface-Grafted Nanocellulose. *Nanomaterials*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/nano9121726>
- Mohan, D., Teong, Z. K., Bakir, A. N., Sajab, M. S., & Kaco, H. (2020). Extending Cellulose-Based Polymers Application in Additive Manufacturing Technology: A Review of Recent Approaches. *Polymers*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/polym12091876>
- Nanocellulose & Nanocrystalline Cellulose Supplier. (s.d.). *CelluForce*. Recuperat 15 desembre 2023, de <https://celluforce.com/>
- Polybion. (s.d.). Recuperat 15 desembre 2023, de <https://polybion.mx>
- Pugliese, R., & Regondi, S. (2022). Artificial Intelligence-Empowered 3D and 4D Printing Technologies toward Smarter Biomedical Materials and Approaches. *Polymers*, 14(14). Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym14142794>
- Randhawa, A., Dutta, S. D., Ganguly, K., Patil, T. V., Patel, D. K., & Lim, K. T. (2022). A Review of Properties of Nanocellulose, Its Synthesis, and Potential in Biomedical Applications. *Applied Sciences-Basel*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/app12147090>
- Schwab. (2017). *The Fourth Industrial Revolution | Essay by Klaus Schwab | Britannica (2017a ed.)*. Crown.
- Srivastava, S., Pandey, V. K., Singh, R., & Dar, A. H. (2023). Recent insights on advancements and substantial transformations in food printing technology from 3 to 7D. *Food Science and Biotechnology*, 32(13), 1783-1804. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01352-8>
- Tang, A. M., Wang, Q. W., Zhao, S., & Liu, W. Y. (2018). Fabrication of nanocellulose/PEGDA hydrogel by 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(8), 1265-1271. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2016-0049>
- Tecnología MJF de impresión 3D de HP. (s.d.). Recuperat 15 desembre 2023, de <https://www.hp.com/es-es/printers/3d-printers/products/multi-jet-technology.html>

- Tekinalp, H. L., Lu, Y., Kunc, V., Duty, C. E., Love, L. J., Peter, W. H. et al. (2016). Bio-reinforced composite development for additive manufacturing: Nanocellulose-PLA. *CAMX 2016 - Composites and Advanced Materials Expo*, Oak Ridge National Laboratory, 1 Bethel Valley Rd, Oak Ridge, TN 37830, United States. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85010060581&partnerID=40&md5=c48be39d74609797eae0669d9209cfa>
- Wang, Q. Q., Sun, J. Z., Yao, Q., Ji, C. C., Liu, J., & Zhu, Q. Q. (2018). 3D printing with cellulose materials. *Cellulose*, 25(8), 4275-4301. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1888-y>
- Zortrax: Professional 3D Printing Solutions for Rapid Manufacturing. (s.d.). Recuperat 15 desembre 2023, de <https://zortrax.com/>

---

# Disseny d'un sistema de transmissió interna per a bicicletes, amb millores quantificables als Objectius de Desenvolupament Sostenible

---

**Marcel Pallarés Gorgues**

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

**Oscar Farrerons Vidal**

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## Resum

El propòsit d'aquest document és analitzar i explicar el disseny i funcionament d'un sistema de transmissió interna per a bicicletes. A l'actualitat hi ha diferents empreses i patents de sistemes de transmissió internes de bicicleta, i certament és un sector en auge, sobretot pel que fa a l'expansió de l'ús de les bicicletes urbanes i bicicletes elèctriques. Al voltant d'aquesta tipologia de bicicletes, existeixen diferents sistemes de transmissió interna, però aquests es poden dividir principalment en dos grups; transmissió interna en caixa (hub) i caixa de transmissió en eix de pedalier. Aquesta última tipologia és en la que es centra aquest document i investigació. La motivació de investigar i dissenyar una caixa de transmissió en pedalier, és deu a que només unes poques empreses i de recent creació, comercialitzen aquest tipus de transmissions. S'explicaran les característiques, els avantatges i els reptes d'aquest sistema, així com el seu impacte en el ciclisme modern. Per últim, s'estudiaran diferents millores quantificables als Objectius del Desenvolupament Sostenible.

## Abstract

The purpose of this document is to analyze and explain the design and operation of an internal transmission system for bicycles. Currently, there are different companies and patents for internal bicycle transmission systems, and it is indeed a growing sector, especially with the expansion of the use of urban and electric bicycles. Around this type of bicycles, there are different internal transmission systems, but these can be

mainly divided into two groups: internal hub transmission and bottom bracket transmission box. This document and research focus on the latter type. The motivation for researching and designing a bottom bracket transmission box is due to the fact that only a few recently established companies market this type of transmission. The characteristics, advantages, and challenges of this system will be explained, as well as its impact on modern cycling. Finally, various quantifiable improvements to the Sustainable Development Goals will be studied.

## 1. Principi de funcionament

### 1.1 Introducció

El treball de disseny i investigació, s'ha fet amb el propòsit de desenvolupar un sistema de transmissió interna per a bicicletes o qualsevol vehicle impulsat per la força muscular d'un ésser humà. Els sistemes de transmissió interna, han sigut els menys impulsats i que dominen menys la indústria del ciclisme, quedant relegats a usos concrets dins del món del ciclisme, com per exemple el de bicicletes urbanes o de transport, així doncs, els sistemes de transmissió interna es poden dividir en les següents categories:

- Caixa de canvis en la caixa (Rear Hub)
- Caixa de canvis en l'eix de pedaller (Bottom bracket)

Aquesta investigació s'adreça a la segona categoria de transmissions internes (Bottom bracket):

Així doncs, es tracta d'una caixa de canvis que s'allotja a la part inferior del quadre de la bicicleta, el qual ha d'estar adaptat per aquest propòsit.

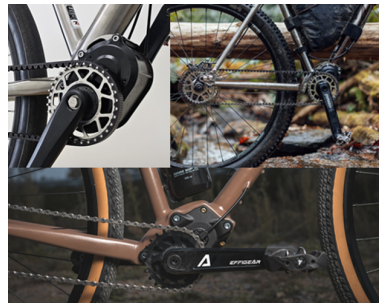


Figura 1. Diferents tipologies de transmissions internes "Bottom bracket". Font: All-to, Pinion, Effigear.

## 1.2 Principi de funcionament

El sistema de transmissió dissenyat, s'inspira en algunes propostes ja existents en el mercat, però oferint unes millores substancials en alguns aspectes tecnològics i sobretot adaptant el sistema a altres zones amb diferents necessitats degut a la horografia pròpia.

A nivell mecànic, no difereix molt respecte un sistema de transmissió de una motocicleta de marxes, però adaptant-se en alguns aspectes a la mida, proporcions i necessitats d'una bicicleta evidentment.

Es tracta d'un eix motriu amb una sèrie d'engranatges solidaris al mateix, aquest eix, es troba en paral·lel amb un altre eix el qual té una sèrie d'engranatges que s'engranen en funció d'un selector de marxes que es troba dins aquest segon eix. En funció dels engranatges seleccionats, la relació de velocitats a la sortida variarà.



Figura 2. Transmissió d'una motocicleta. (novaracing.co.uk).

Una peculiaritat respecte aquest sistema i que difereix de qualsevol sistema de transmissió que es coneix, és que; l'eix d'entrada de potència (*input*), és a la vegada l'eix de sortida de potència (*output*). Això s'aconsegueix mitjançant una peça de sortida de potència (*output*) que gira de manera flotant sobre l'eix motriu (*input*).



## 2. Elements

### 2.1 Vista general

A continuació s'expliquen els elements principals que componen la caixa de canvis:

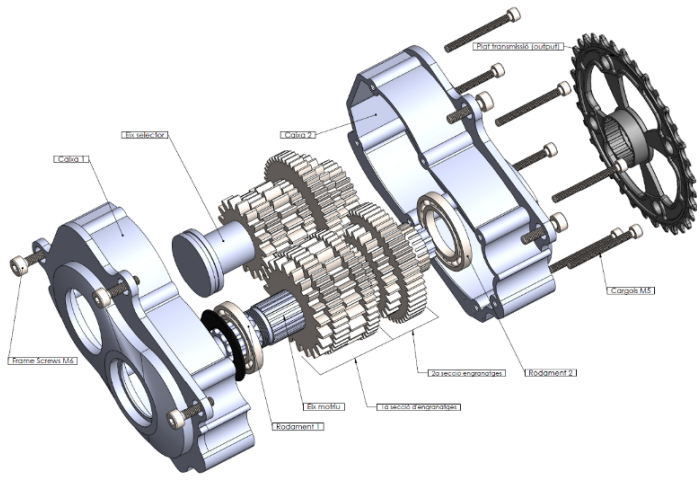


Figura 3. Vista explotada del sistema de transmissió.

### 2.2. Elements

- **Caixa:** La peça central que acull tot el sistema d'engranatges i eixos i permet que tot giri de manera consistent. També té la funció de adaptar-se i fixar-se al quadre de la bicicleta. Incorpora un cargol de buidat a la part inferior per a fer el canvi d'oli, ja que tot el sistema va lubricat.
- **Engrenatges:** Els engranatges ubicats a la caixa de canvis s'engrenen entre si per a proporcionar les diferents relacions de marxes, en aquest cas fins a dotze velocitats.

- Eix motriu o de pedalier: És l'eix d'entrada de potència a través de les bieles i els pedals de la bicicleta. És un eix de pedalier dissenyat especialment per a que funcionin de manera solidària tots els engranatges, és a dir, sempre que gira l'eix, giren tots els engranatges que es troben solidaris amb el mateix.
- Eix selector de marxes: Aquest és el segon eix que completa el sistema de la caixa de canvis interna. Es tracta d'un eix amb dotze obertures que conté a dins un mena d'arbre de lleves amb dotze configuracions úniques. Cadascuna d'aquestes configuracions úniques, bloquegen un engranatge de cada secció per a obtenir la relació de marxes desitjada en la sortida de potència.

Per a completar la caixa de transmissió i per tal de poder controlar l'abast d'aquest estudi, s'ha optat per adquirir l'eix selector, corresponent el n° de patent: US 10526044B2.

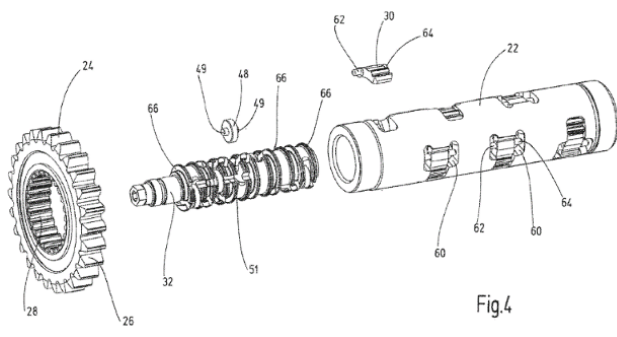


Figura 4. Eix selector de marxes. (US 10526044B2)

- Plat de transmissió: Es tracta de un simple plat de transmissió per cadena o per corretja convencional, amb la única diferència que la hi ha és la connexió amb la sortida de potència, que, requereix de un disseny especial.

- Cargols, separadors i rodaments: Per a que tot funcioni correctament i no hi hagin desplaçaments d'elements, tot el sistema s'acaba fixant i acoblant amb diferents tipus de tornilleries, separadors d'engranatges, i tapes de rodaments.

### 3. Funcionament i prestacions

#### 3.1. Funcionament

La caixa de transmissió va ancorada a la part inferior del quadre de la bicicleta, amb sis ancoratges, per tant, el quadre de la bicicleta ha de ser compatible amb el sistema. La caixa es compatible amb bieles i pedals existents en el mercat.

Un cop la caixa es troba fixada al quadre de la bicicleta i amb bieles i pedals instal·lats, es pot procedir a explicar el *powerflow* del sistema de transmissió:

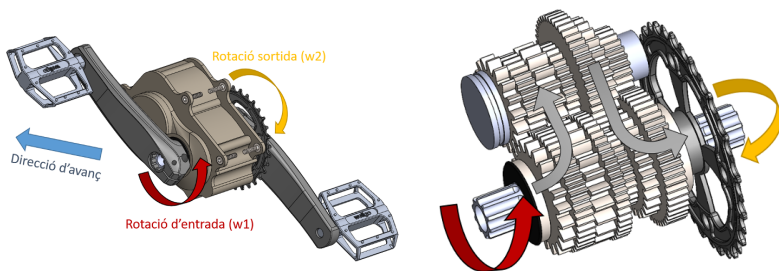


Figura 5. Esquema de flux de potència.

Seqüència de funcionament:

- 1.El ciclista fa girar la biela, la qual, solidaria amb l'eix motriu, fa girar tot l'eix (figura 5).

2. Degut a això, la primera secció d'engranatges fixes, giren tots (Figura 6 esquerra).
3. A conseqüència d'això els engranatges fixes fan girar els engranatges lliures de la mateixa secció (només transmetrà rotació l'engranatge que estigui fixat amb el selector).
4. La rotació que s'acaba de induir al eix selector, fa girar el engranatge de la segona secció que es trobi en aquell moment seleccionat (Figura 6 dreta).
5. Per últim, l'engranatge flotant transmet la rotació al plat dentat, al qual es troba unit (Figura 7).

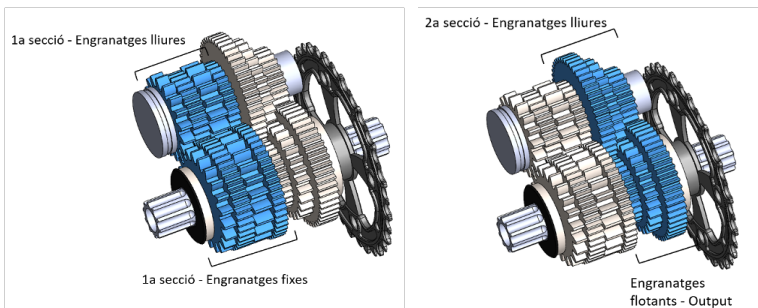


Figura 6. Seccions d'engranatges.

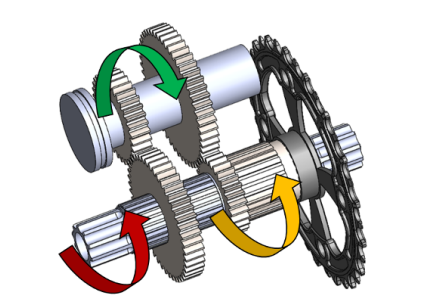


Figura 7. Flux de potència amb la 11a marxa engranada.

### 3.2. Prestacions

Per tal de poder calcular les prestacions del sistema de transmissió, primer es mostren les característiques de cada engranatge:

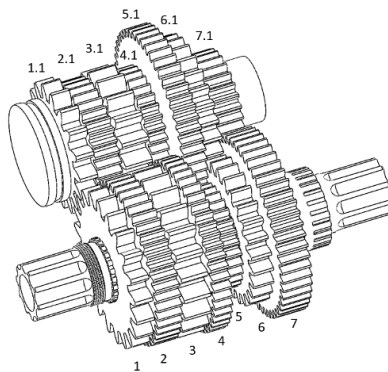


Figura 8. Designació dels engranatges.

	1ª secció				2a secció		
	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
Z	17	32	16	30	50	26	26
m (mòdul)	3	1,5	3	1,5	1,5	2,25	1,5
	1	2	3	4	5	6	7
Z	21	46	22	48	28	26	51
m (mòdul)	3	1,5	3	1,5	1,5	2,25	1,5

Taula 1. Mòdul i nombre de dents de cada engranatge.

Com ja s'ha comentat, l'eix selector té la capacitat de fixar sempre un engranatge de cada secció, provocant el flux de potència abans descrit. Per tant, això genera fins a dotze combinacions possibles de velocitats (4 engranatges x 3 engranatges = 12 velocitats).

Quan un tren d'engranatges té diverses etapes, com és el cas, la relació d'engranatges del sistema global és el producte de les etapes individuals, per tant (per la marxa 11 engranada):

$$\frac{Z_2}{Z_{2.1}} * \frac{Z_{5.1}}{Z_5} = \frac{46}{32} * \frac{50}{28} = 2,57$$

Així doncs a la següent taula es poden veure totes les relacions d'engranatges i la relació total.

Marxa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Overall ratio
Rati	0,63	0,70	0,73	0,82	1,24	1,38	1,44	1,6	2,21	2,46	2,57	2,86	454%

Taula 2. Relació de transmissió per a cada marxa.

Com es pot veure, els engranatges dissenyats, assoleixen unes relacions de transmissió molt progressives, sobretot entre les primeres vuit marxas. Això és degut a que s'ha pensat una sistema de transmissió dedicat per a la horografia de ciutats on el ciclista acumula més desnivell, com per exemple, la ciutat de Barcelona.

### 3.3. Materials

Element	Material
Caixa	Aleació de magnesi.
Engranatges	AISI 1045
Eix motriu	AISI 4130
Rodaments	AISI 52100
Separadors	Alumini 6061

Taula 3. Materials de cada element.

#### 4. Validació del disseny

Per a poder assegurar que el disseny de la caixa de canvis projectada és funcional, es realitza a continuació un estudi amb les sol·licitacions, suports i les posteriors deformacions i tensions que suporten dos dels elements més essencials i més exposats a sol·licitacions; la caixa i l'eix motriu. S'ha emprat el software de càlcul d'elements finits ANSYS Workbench 2023.

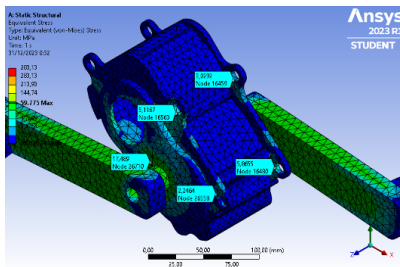


Figura 9. Tensió de Von Mises (Mpa) als punts d'anclatge.

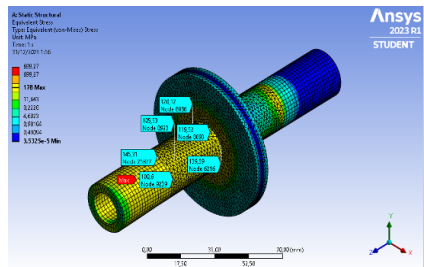


Figura 10. Tensió de Von Mises (Mpa) al eix motriu.

#### 5. Conclusions

A partir de realitzar aquest disseny, s'ha aconseguit una caixa de transmissió interna amb unes prestacions superiors i més enfocades a un públic casual y de zones on no es troba massa instaurada la circulació amb bicicleta. També s'ha assolit una reducció del pes total del sistema i unes capacitats mecàniques que ofereixen un ús a vida infinita amb total garantia.

Les caixes de transmissió en el pedalier estan experimentant un augment de presència en el mercat i amb diferents propostes de petites companyies que tracten de trobar un forat en la indústria. Els principals motius d'aquest auge, són: millora en materials i tècniques de fabricació, augment de l'ús de bicicletes en grans ciutats arreu del món com a transport mètode de transport i per últim, l'aparició de la bicicleta elèctrica i el baix manteniment que requereix.

## Referències

Matthias Wandel. (2013). *Gear ratios and compound gear ratios*.  
woodgears.ca/gear/ratio.

United States Patent and Trademark Office. [www.uspto.gov/patents](http://www.uspto.gov/patents)

Logan Watts. (2023). Pinion Gearbox review a true bike transmission. [https://  
bikepacking.com/gear/pinion-gearbox-review/](https://bikepacking.com/gear/pinion-gearbox-review/)

MatWeb, LLC. (2011). *Material Property Data*. [https://www.matweb.com/  
services/services.aspx](https://www.matweb.com/services/services.aspx)



---

## Anàlisi dels resultats acadèmics a l'assignatura d'Expressió Gràfica en relació amb els perfils d'admissió

---

### ***Mireia Puig-Poch***

ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

### ***Elisabet Quintana Vilajuana***

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

### ***Jordi Voltas Aguilar***

ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## **Resum**

El Decret 171/2022 que substitueix el Decret 142/2008, regula l'educació secundària no obligatòria a Catalunya i estableix que les assignatures de Dibuix Tècnic I i II són assignatures optatives pels cursos de batxillerat tecnològic. Això significa que els alumnes poden escollir-les entre d'altres assignatures optatives i que, per tant, arriben a la universitat amb coneixements diversos. Per altra banda, els programes de les enginyeries industrials continuen incloent una assignatura d'Expressió Gràfica obligatòria durant el primer any acadèmic. Els programes d'admissió universitària recomanen haver cursat les assignatures de Dibuix Tècnic durant els estudis previs a la universitat, però la seva no obligatorietat desemboca a la coexistència dins de la mateixa aula de coneixements previs diversos. Per intentar pal·liar aquesta diversitat la universitat ofereix cursos introductoris voluntaris abans de començar el curs.

Amb aquest estudi es pretén definir si aquest coneixement previ afecta de forma significativa sobre els resultats finals de les assignatures d'Expressió Gràfica que es cursen el primer any de forma obligatòria a les diverses enginyeries industrials a l'ESEIAAT. Es realitza un anàlisi de regressió lineal amb la intenció d'entendre el comportament de les dades recollides i ajudar en la introducció de noves estratègies per a millorar la proporció d'aprovats de l'assignatura.

## Abstract

Decree 171/2022 that replaces the Decree 142/2008, that regulates compulsory post-High School in Catalonia, establishes that Technical Drawing I and II are modality courses, which means that they are not compulsory. Therefore, students who take High School in Science and Technology can choose among different modality courses. However, all the study programs of Industrial and Aerospace Engineering Degrees include a core course of Graphic Expression in the first academic year and admission programs strongly recommend having studied Technical Drawing. As a result, students with different learning backgrounds normally co-exist in the classroom. In order to overcome this situation, universities offer introductory level courses to prepare students, although these courses are not required for admission.

The present study aims to define if this prior knowledge has a significant effect on the final course grade of the Graphic Expression subjects in the Engineering course of the Bachelor's Degree in Industrial Engineering at ESEIAAT (UPC). A linear regression analysis is conducted in order to understand how the collected data behave and to potentially predict future outcomes. This model is also expected to help to introduce new strategies to improve the course's pass rate.

---

## 1. Introducció

Aquesta comunicació se centra en l'anàlisi dels resultats de les assignatures obligatòries que inclouen dibuix tècnic en el primer any acadèmic de les enginyeries industrials, Expressió Gràfica a l'Enginyeria i Expressió Gràfica I, amb la intenció de millorar-ne la qualitat educativa.

Un dels principals problemes detectats inicialment és fruit de la no obligatorietat de cursar dibuix tècnic durant el batxillerat, ja que això comporta un punt de partida desigual en l'alumnat dins de l'aula. El decret 142/2008 que regulava l'educació secundària no obligatòria a Catalunya vàlid fins setembre de 2022 designava Dibuix Tècnic I i II com a assignatures de modalitat, i per tant, optatives. El decret 171/2022, que el substitueix, les manté com a tal. Això significa que els estudiants que opten per les modalitats tecnològiques i científiques no estan obligats a cursar-les. Aquesta matèria, però, sí que es considera obligatòria en les enginyeries industrials, i per tant,

els programes d'admissió recomanen cursar-la durant els cursos previs a la matriculació universitària (Blázquez-Parra, Ladrón de Guevara-López & Marín-Granados, 2020). Per aquells alumnes que no l'han cursat, les universitats ofereixen cursos propedèutics per intentar pal·liar la desigualtat dins de l'aula. A l'ESEIAAT, s'ofereix el Curs Zero de Dibuix Tècnic, de caràcter voluntari, que inclou 20 hores de docència presencial on s'imparteixen les bases d'allò que posteriorment es veurà a les assignatures d'Expressió Gràfica.

Amb aquesta varietat de possibilitats, en una mateixa aula podem trobar estudiants que han cursat dibuix tècnic a batxillerat, o en d'altres graus superiors previs a la universitat, estudiants que han cursat el Curs Zero, i totes les seves combinacions possibles. Davant d'aquesta situació, es decideix dur a terme un estudi comparatiu dels resultats finals de l'assignatura prenent en consideració els diversos perfils de l'estudiantat.

El resultat de les assignatures d'Expressió Gràfica dels últims 6 anys (2017-2022), dins dels diversos programes d'enginyeries industrials a l'ESEIAAT, es mouen en uns percentatges d'aprovat entre el 50 i 70%. Per millorar aquests percentatges és important entendre els diversos factors que motiven aquests resultats. A través d'una anàlisi de regressió lineal, es pretén estudiar la relació de les diverses variables amb el resultat final. Es contemplen com a variables el coneixement previ de dibuix tècnic, la participació en el curs propedèutic i la nota d'accés universitària. Potencialment, es podrien predir els resultats futurs mitjançant els resultats de l'anàlisi, així com identificar els aspectes millorables dins de les mateixes assignatures o del curs inicial per obtenir uns resultats acadèmics més satisfactoris (Sáez-Gutiérrez, Albaladejo, Velázquez-Blázquez, Parras-Burgos, Cañavate, Fernández-Pacheco et al., 2020).

## **2. Descripció del curs i estructura**

Les assignatures d'Expressió Gràfica s'estructuren a través de contingut teòric i pràctic, repartit amb una càrrega de quatre hores

setmanals. L'alumnat es distribueix, aproximadament, en grups de 30 persones per aula. Les classes es realitzen en aules d'informàtica, ja que l'assignatura inclou el treball amb software específic. La matèria s'avalua mitjançant tasques setmanals (amb un valor del 5 %), dues proves de croquis (amb un valor del 20 %), un treball en grup (amb un valor del 15 %) i dos exàmens parcials (amb un valor del 60 %). Les sessions setmanals estan dissenyades per assegurar que cada estudiant sigui capaç d'assolir bons resultats independentment del seu coneixement previ. Si és necessari, hi ha material addicional disponible per reforçar els aspectes més complexos del programa. Per altra banda, les tasques associades a l'avaluació continuada són significatives i obliguen a l'estudiant a ser responsable, treballar de forma autònoma i mantenir-se al dia de l'assignatura.

### **3. Metodologia**

L'estudi dels resultats obtinguts en les diverses assignatures d'expressió gràfica associades als graus en enginyeries industrials de l'ESEIAAT es concreta en l'estudi dels resultats de 459 alumnes que cursen l'assignatura per primera vegada durant el quadrimestre de tardor del curs 2022-23. L'objectiu és trobar la relació entre la nota d'accés universitària, el coneixement previ relacionat amb el dibuix tècnic, la participació en el Curs Zero de dibuix tècnic i la nota final de l'assignatura d'Expressió Gràfica.

Havent observat el nombre d'estudiants, es pot afirmar que  $n=q=459$  (estudiants diferents amb resultats diversos). Segons les variables establertes es distribueixen en quatre grups tal com mostra la taula 1.

A partir d'aquest punt, els diversos grups es designaran: Grup #1 com a (N-N), el Grup #2 com a (N-S), el Grup #3 com a (S-N), i el Grup #4 com a (S-S). La primera posició fent referència als coneixements previs en dibuix tècnic, i la segona posició fent referència a la participació en el Curs Zero de dibuix tècnic.

Grup	Coneixement previ en dibuix tècnic	Participació del curs zero de dibuix tècnic	Núm. d'estudiants
Grup #1	No	No	170
Grup #2	No	Sí	25
Grup #3	Sí	No	248
Grup #4	Sí	Sí	16

Taula 1. Grups d'estudiants.

La metodologia comença amb estadística bàsica per cada grup, així com altres factors rellevants. De la mostra estudiada, s'exclouen els estudiants repetidors i els que abandonen l'assignatura. A continuació, es realitza un model de regressió lineal amb els paràmetres següents:

**Y:** nota final de l'assignatura modelada

**X:** nota d'admissió universitària

**Q<sub>2</sub>:** Variable categòrica: basada en la participació d'assignatures de dibuix tècnic en els seus estudis anteriors a la universitat, valors 0 ó 1.

**Q<sub>3</sub>:** Variable categòrica: basada en la participació en el curs zero de dibuix tècnic, valor 0 ó 1.

De les variables anteriors, es du a terme un model inicial com a combinació lineal amb diferents factors de regressió (Eq. 1):

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 Q_2 + \beta_4 Q_2 x + \beta_5 Q_2 x^2 + \beta_6 Q_3 + \beta_7 Q_3 x + \beta_8 Q_3 x^2 + \beta_9 Q_2 Q_3 + \dots \\ \dots \beta_{10} Q_2 Q_3 x + \beta_{11} Q_2 Q_3 x^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

On  $\hat{Y}$  es la funció estimada, i  $\{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_{11}\}$  són els coeficients en cada terme del model. Els diferents termes corresponen a les diferents interaccions entre  $x$ ,  $Q_2$  i  $Q_3$ .

Per validar el model matemàtic, es du a terme una anàlisi de variable (ANOVA). A cada fase s'eliminen els termes amb un nivell ANOVA per sobre de 0.05. El model final resultant és el següent (Eq. 2):

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3Q_2x + \beta_4Q_2Q_3x \quad (\text{Eq. 2})$$

El pas següent implica comprovar el coeficient de determinació R2, el qual representa la fracció de variabilitat total explicada pel model. Després es realitza una anàlisi dels residuals i es crea un gràfic de probabilitat dels residuals normals. Aquestes observacions mostren més o menys confiança a les conclusions finals.

#### 4. Resultats i discussió

Analitzant els resultats acadèmics dels 459 estudiants que van cursar les assignatures d'expressió gràfica a l'enginyeria, el percentatge d'aprovat ha sigut del 70.8 %, mantenint-se dins dels rangs observats en cursos anteriors. Tal i com es mostra a la Figura 1a, la nota final de l'assignatura es distribueix a l'interval de 45 i 69, amb una nota mitjana de 56.4, una nota màxima de 93 i una nota mínima de 10.

Si s'analitza el percentatge d'aprovat respecte el total d'estudiants, s'observa que el Grup #3 (S-N) és el grup amb més percentatge d'aprovat, amb un 44%, doblant el percentatge del Grup #1 (N-N) que se situa al 21.5 %. Pel que fa als grups restants, només un 3.7 %

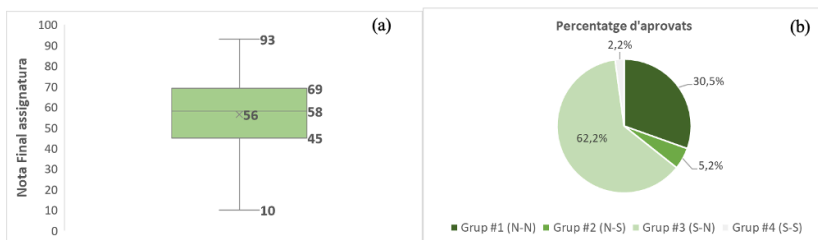


Figura 1. (a) Nota final de les assignatures d'Expressió gràfica. Mostra de 459 estudiants. (b) Percentatge d'aprovat respecte el total d'aprovat.

d'aprovat corresponen al Grup #2 (N-S) i un 1.5 % al Grup #4 (S-S). Si s'expressen els resultats respecte el total d'aprovat, el percentatge assolit per a cada grup és de 62.5 %, 30.5 %, 5 % i 2 %, respectivament (Figura 1b). No obstant, s'ha de tenir en compte que el Grup #3 representa el 54 % de la població, el Grup #1 el 37 % i els dos restants el 5.5 % i el 3.5 %, respectivament.

Si avaluem el percentatge d'aprovat segons cada grup, s'observa que aquest es troba per sobre del 50%, amb excepció del Grup #4 que tan sols presenta un 44 % d'aprovat (Figura 2). El comportament del Grup #4 és poc esperat, tenint en compte que aquests estudiants ja tenien coneixements de dibuix tècnic i van reforçar-los amb el curs zero. Per tant, s'esperaria que el percentatge d'aprovat fos màxim. També contrasta amb l'efecte positiu que el curs zero sembla aportar al Grup #2 (N-S). És a dir, comparant el Grup #2 (N-S) amb el Grup #1 (N-N), s'observa que el percentatge d'aprovat al Grup #2 és major (68 % vs. 58 %). Aquesta diferència es podria atribuir directament al fet d'haver realitzat el curs zero, tot i que si analitzem les notes mitjanes d'aquests dos grups, aquestes són molt similars, 52.2 (N-S) i 50.9 (N-N), indicant que encara que es millora el percentatge d'aprovat, el nivell assolit no millora (Taula 1).

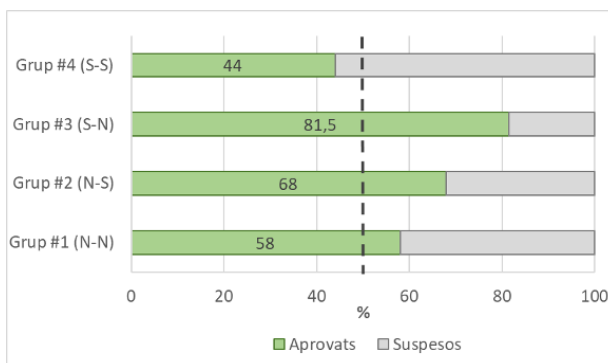


Figura 2. Percentatge d'aprovat i suspesos separat per cada grup.

Analitzant amb més detall cada grup, cal destacar que entre els aprovats del Grup #3 (S-N) un 33.1 % van obtenir notes entre 70 i 100. A més a més, tots els estudiants que van suspendre es trobaven dins el rang de 49-40. Per altra banda, és interessant subratllar que dins el grup d'estudiants que no va fer dibuix tècnic ni tampoc va cursar el curs zero (Grup #1 N-N), hi ha un 16.5 % que aconseguen notes entre 70 i 100, demostrant que a l'assignatura es proporciona la informació i els exercicis necessaris per comprendre satisfactòriament els continguts del temari i aconseguir bons èxits acadèmics.

Nota Final	General	Grup #1 (N-N)	Grup #2 (N-S)	Grup #3 (S-N)	Grup #4 (S-S)
Mostra	459	170	25	248	16
Mitjana	56.4	50.9	52.2	61.2	46.8
Mediana	58	52	55	62	46.5

Taula 1. Dades de la mitjana i la mediana en termes generals i per cada grup.

Representant la relació entre la nota final de l'assignatura i la nota d'accés als estudis de grau, no s'observa que les dades es distribueixin en una relació lineal evident (Figura 3). Tot i això, en termes generals, s'intueix que els estudiants que accedeixen al Grau amb notes més altes aconseguen passar l'assignatura amb notes finals més altes.

A partir d'aquesta primera anàlisi del conjunt de dades, es conclou que haver cursat dibuix tècnic a Batxillerat o estudis equivalents té un pes important en la qualificació final de l'assignatura, però no és indispensable ni determinant per poder aprovar l'assignatura, ja que un percentatge important d'estudiants que no tenien coneixements previs de dibuix tècnic també aconseguen superar l'assignatura. També es posa de manifest que matricular-se del curs zero té efectes contraposats segons si l'alumne té coneixements previs o no de dibuix tècnic.



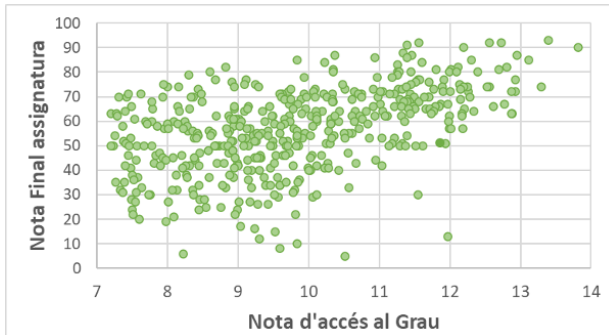


Figura 3. Nota Final assignatura respecte Nota d'accés al Grau.

Amb l'objectiu de trobar una equació que expliqui tot aquest conjunt de dades i que indiqui quines variables prediuen millor la qualificació final de l'assignatura, s'aplica un model de regressió lineal per passos. Eliminant els termes poc significatius s'obté el següent model final amb una  $r^2$  de 0.299 (Eq. 3) (Figura 4):

$$\hat{Y} = 93.49 - 13.09x + 0.89x^2 + 0.68Q_2x + 1.13Q_2Q_3x \quad (\text{Eq. 3})$$

Amb el model anterior queda confirmat que no existeix una relació directe entre la variable Q3 i la nota final estimada. Per tant, no hi ha proves sòlides que recolzin la idea que la participació en cursos d'iniciació condueixin cap a millors qualificacions finals. Pel que fa a la R, tot i ser un valor positiu, com que només representa el 30 % de la població estudiantil, hem de suposar que la nostra estimació és esbiaixada o no prou forta.

A la Figura 4 es pot observar, la resposta de la nota final estimada en funció de la nota d'accés al Grau, per a cada grup. Així, per una mateixa nota d'accés, els estudiants que han cursat dibuix tècnic anteriorment però no han realitzat els curs zero (Grup #3), s'estima que assoliran notes finals superiors a la de la resta dels grups. És interessant destacar que els Grups #1 i #2, que no han cursat dibuix

tècnic anteriorment però difereixen en haver cursat o no el curs zero, es preveu que presentin la mateixa resposta. Per últim, i tal i com s'havia indicat anteriorment, la combinació de realitzar el curs zero tot i tenir coneixements de dibuix tècnic, preveu els pitjors resultats; i per notes d'accés inferior a 11 punts, la nota final estimada és inferior a 50.

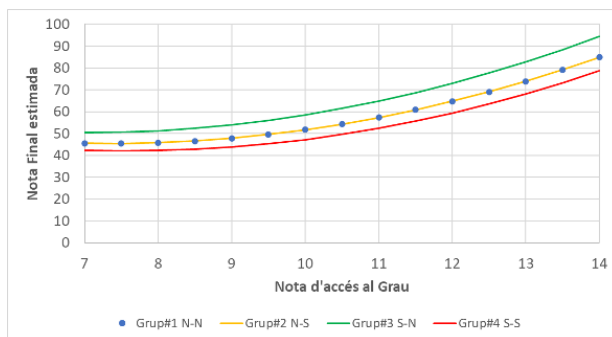


Figura 4. Estimació de la Nota Final de l'assignatura en funció de la nota d'accés al Grau, per cada grup.

## 5. Proposta de treball futur

Des del punt en que el model lineal pot afegir el nombre de variables que calgui, i entenent que el model anterior presenta una dispersió considerable, es planteja treballar amb diferents variables al sistema que puguin explicar el model d'una manera més sòlida, centrant-nos, ara, en el grau de seguiment de l'assignatura per part dels estudiants. Aquí es podrien considerar variables com el nombre d'accésos al campus virtual, el nombre de consultes al material d'aprenentatge, el nombre d'interaccions amb el professor, el nombre de participacions en fòrums, etc.

Inicialment s'ha plantejat afegir el nombre de pràctiques entregades per avaluar l'efecte d'aquestes en la resposta de l'estimació de la nota final de l'assignatura, (Q4). Una primera observació de les dades estructurades en les tres variables (nota d'accés, nota final i nombre

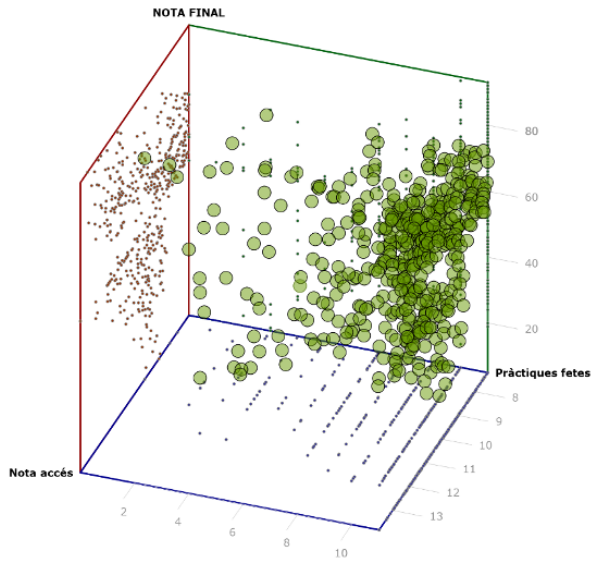


Figura 5. Representació del conjunt de dades tenint en compte 3 variables: nota d'accés, nota final i nombre de pràctiques realitzades (3D scatterplot).

de pràctiques realitzades) sembla indicar que no és rellevant d'entrada, existint tant aprovats com suspesos corresponents a estudiants que, tant han realitzat totes les pràctiques, com que no n'han realitzat pràcticament cap (Figura 5).

## 6. Conclusions

Després d'analitzar els resultats acadèmics dels 459 estudiants que cursaven Expressió Gràfica per primer cop al quadrimestre de primavera del curs 2022-23 en el primer any dels diversos graus d'enginyeria industrial de l'ESEIAAT, s'estableixen les variables que poden ser un factor determinant i, per tant, poden ajudar a la definició d'estratègies per millorar els resultats adversos, així com a millorar la mitjana de la nota global de l'assignatura.

La primera conclusió és que haver estudiat dibuix tècnic prèviament (i no haver participat del curs zero) és, efectivament, un factor important. S'entén que els alumnes que formen part d'aquest grup (Grup #3 S-N) tenen una base de coneixement espacial i geomètric que els permet avançar de forma segura en el desenvolupament de l'expressió gràfica associada a l'enginyeria i, per tant, obtenir bons resultats.

En canvi, sembla que haver cursat prèviament dibuix tècnic i reforçar els coneixements amb la participació al curs zero es comporta com un factor negatiu. És un resultat contradictori pels alumnes del Grup #4 (S-S), ja que s'esperarien uns resultats iguals o millors, però no pitjors. La hipòtesi que explicaria aquest resultat és que es tracta d'alumnes que se senten insegurs amb la matèria, tot i haver-la estudiat prèviament, i que per això volen reforçar-la amb el curs zero. De totes maneres, però, es tracta d'un grup de persones reduït i caldria fer una aproximació qualitativa per entendre les circumstàncies de cada cas, per exemple, en relació amb la resta de notes obtingudes en altres assignatures de primer any per establir si el problema està relacionat amb factors fora de l'àmbit del dibuix.

Els resultats obtinguts per part del Grup #2 (N-S) i del Grup #1 (N-N), grups sense coneixements previs en dibuix tècnic, presenten certes diferències. De fet, el grup #2 que ha cursat el curs zero millora el percentatge d'aprovat si es compara amb el grup #1, tot i que a nivell de notes assolides no s'observen diferències significatives. De totes maneres, les dades indiquen que el curs zero no anivella les competències de visió espacial i geomètrica amb els alumnes que sí que han cursat dibuix tècnic en el batxillerat.

Un cop analitzat el comportament dels quatre grups definits es planteja una reflexió més àmplia. Per una banda, s'entén que queda fora de l'abast de la universitat actuar sobre les matèries cursades pels alumnes abans de matricular-se als graus en enginyeries industrials i que, per tant, la importància del dibuix tècnic ha de

quedar clara durant les xerrades i visites dels futurs estudiants d'enginyeria de manera que considerin convenient escollir Dibuix Tècnic I i II com a assignatures de modalitat durant el batxillerat.

Per altra banda, queda clar que cal prendre mesures en altres direccions per anivellar el nivell inicial dins de l'aula. Una possibilitat està relacionada amb el curs zero: revisar-ne contingut i metodologia per convertir-lo en un factor determinant en relació amb la nota final de l'assignatura.

Finalment, quan s'introdueix com a variable el nombre de pràctiques entregades d'avaluació continuada, el model continua mostrant una variabilitat molt alta i, per tant, no es poden extreure conclusions predictives. Es treballa sobre el comportament de les persones i, més enllà de les dades quantitatives, caldria un enfocament més qualitatiu per poder comprendre els resultats de les dades, ja que les dades que depenen de factors humans són poc controlables a nivell estadístic.

El següent pas es presenta en dues direccions. Per una banda, afegir les dades recopilades en el quadrimestre de tardor 2023 buscant unes conclusions més consistents. Per altra banda, treballar sobre noves variables, com per exemple, haver cursat un o dos anys de dibuix tècnic a batxillerat, o haver examinat l'assignatura a la selectivitat, les pràctiques entregades o l'accés al material complementari, amb l'objectiu de trobar una variable suficientment significativa.

### **Agraïments**

Els autors agreixen el suport de la professora Ines Algaba i la professora Mari Albareda amb el càlcul estadístic. Elisabet Quintana és professora Serra Húnter.

## Referències

- Blázquez-Parra, E. B., Ladrón de Guevara-López, I., & Marín-Granados, M. D. (2020). Comparison and Analysis of Graphic Engineering in the Degree in Engineering in Industrial Technologies. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 428–437. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41200-5\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41200-5_47)
- DECRET 142/2008, de 15 de juliol, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments del batxillerat. *Diari oficial de la Generalitat de Catalunya*, núm. 5183 del 29 de juliol de 2008. <https://dogc.gencat.cat/ca/document-del-dogc/?documentId=507489>, últim accés 16/11/2023.
- DECRET 171/2022, de 20 de setembre, d'ordenació dels ensenyaments de batxillerat. *Diari Oficial de Catalunya*, núm. 8758 del 22 de setembre de 2022. <https://portaljuridic.gencat.cat/ca/document-del-pjur/?documentId=938056>, últim accés 16/11/2023
- Sáez-Gutiérrez, F. L., Albaladejo, L. S. C., Velázquez-Blázquez, J. S., Parras-Burgos, D., Cañavate, F. J. F., Fernández-Pacheco, D. G. Et al. (2020). Interactive and Lightweight Step-by-Step-Based Environment for Self-learning in Basic Graphic Expression Skills. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 446-453. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41200-5\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41200-5_49)

---

## Sensorització del peu diabètic

---

**Mireia Puig-Poch**

ESEIAAT. Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

### Resum

Aquesta revisió de literatura es du a terme amb l'objectiu de valorar el desenvolupament d'un sistema electrònic integrat al teixit per a la detecció precoç de possibles lesions al peu causades per l'evolució de la diabetis, ajudar a prevenir l'aparició d'úlceres i, conseqüentment, contribuir en la millora de la vida del pacient.

Per fer-ho, es proposa treballar sobre el control de la pressió plantar, ja que aquesta es presenta com la principal causa de l'aparició de les úlceres. També es proposa treballar pel mesurament de canvis de temperatura a la superfície de la pell, ja que és un símptoma previ a l'aparició de la lesió, així com en la millora de la col·locació dels elements sensitius.

Un sistema de monitorització d'aquests dos elements pot aportar informació que ajudi al personal mèdic a prendre decisions per a la prevenció i el tractament del pacient.

Aquest document inclou un resum de les afectacions i problemàtiques associades al peu diabètic, una revisió de dispositius i estudis existents, i una proposta de recerca per a desenvolupar un dispositiu tèxtil sensitiu.

### Abstract

This literature review is undertaken with the objective of evaluating the development of an integrated electronic system within fabric for the early detection of potential foot injuries resulting from the progression of diabetes. The primary goal is to aid in preventing the formation of ulcers, thereby contributing to the overall enhancement of the patient's quality life.

To achieve this, the proposed approach involves focusing on the control of plantar pressure, recognized as the primary factor leading to ulcer development. Additionally, emphasis is placed on monitoring temperature changes on the skin surface, as such alterations serve as precursors to injury, as well as on the improvement of the placement of the sensitive elements.

The implementation of a monitoring system addressing these two aspects can furnish valuable information to assist medical professionals in decision-making processes aimed at enhancing medical treatment and facilitating early detection.

This document includes a concise explanation regarding the effects and issues associated with the diabetic foot conditions, a review of existing devices and studies, and a research proposal outlining the development of a sensitive textile device tailored for diabetic foot applications.

---

## 1. Afectacions i problemàtica associades al peu diabètic

La diabetis mellitus és una malaltia metabòlica caracteritzada per nivells de glucosa en sang fora de la normalitat, una de les malalties amb més creixement a les últimes dècades amb una previsió d'afectació de 439 milions de persones a nivell mundial a l'any 2030 (Shaw, Sicree & Zimmet, 2010). Entre un 15 % i un 25 % de les persones amb diabetis mellitus desenvoluparan úlceres de peu diabètic al llarg de la seva vida (Al-Rubeaan, Al Derwish, Ouizi, Youssef, Subhani, Ibrahim et al., 2015; Amemiya, Noguchi, Ohashi, Ueki, Kadowaki, Mori et al., 2014), per tant, es pot considerar que és una de les complicacions característiques d'aquesta malaltia i una de les que implica més casos d'hospitalització (Yazdanpanah, 2015).

El seu tractament és multidisciplinari, control de la glucosa en sang, desbridament de la ferida, elements externs per a la descàrrega de la pressió plantar, fins a arribar a la cirurgia per tractar úlceres cròniques. També existeixen altres tractaments més complexos com la oxigenoteràpia hiperbàrica, l'estimulació elèctrica o la teràpia de pressió negativa (Yazdanpanah, 2015).

Les causes que porten al desenvolupament del peu diabètic també són variades, hi ha alguns factors de risc com el gènere (masculí), més de 10 anys amb diabetis, l'edat avançada, l'índex de massa corporal, entre els quals també es troba uns hàbits de cura poc adequats. Només el 10 % de les úlceres es considera que són causades per la detenció o suspensió de la circulació arterial a la



zona (Yazdanpanah, 2015). Aquesta mala circulació sanguínia, la hiperglucèmia i una pell de mala qualitat, són factors a tenir en compte perquè dificulten la curació i desemboquen a una major propensió d'infectar la ferida (Vijean, Mohammed, Ahmad, Amneera Wan Ahmad, Santiago, Ahmad et al., 2022), però no en són la causa principal. Un altre factor important a tenir en compte és la disminució de la sensibilitat a la zona a causa de la neuropatia d'alguns pacients amb diabetis; fet que comporta que no es detectin les superfícies on es recolza el peu o si hi ha ferides a la zona (Vijean et al., 2022). La neuropatia diabètica redueix, i fins i tot elimina, la sensació de dolor, i per tant, de protecció, a part d'induir a un canvi de l'estructura i funció del peu (Sawacha, Guarneri, Cristoferi, Guiotto, Avogaro & Cobelli, 2012).

Tot i els múltiples factors a considerar, estudis com el realitzat a la Universitat de Tokio demostren com el principal factor causant de l'úlceres és una elevada pressió plantar (Amemiya et al., 2014), i s'investiga la relació entre aquesta pressió i la mobilitat del peu, la relació amb la marxa i el moviment del tronc a través d'anàlisis de moviment i pressió estàtica per identificar els canvis de pressió que poden donar-se en persones amb diabetis i sense, ja que l'excés de pressió plantar es relaciona amb una mobilitat articular limitada i amb deformitats al peu, característic de les persones amb diabetis (Singh, 2005). L'anàlisi de la marxa i de la biomecànica del peu diabètic proporciona informació per dissenyar pròtesis i poden ajudar en la prevenció de la formació d'úlceres plantars (Sawacha et al., 2012). Cal tenir en compte la pèrdua de la sensació mecànica, que limita la percepció de portar un mal calçat; la pèrdua de la propiocepció, que limita una correcta funcionalitat del peu i l'estabilitat general del cos; i, la pèrdua de la sensibilitat, que incapacita per a la detecció d'incidències mecàniques, tèrmiques o físiques (Tyrrell, 1999).

Per altra banda, els diferents estudis també destaquen que un tractament precoç d'aquestes úlceres és una mesura eficient per prevenir-ne les complicacions severes que poden desembocar en

infecció, gangrena, amputacions o mortalitat, així com per millorar la qualitat de vida de les persones amb aquesta afectació (Vijean et al., 2022; Yazdanpanah, 2015). És habitual que es tardin uns quants mesos a curar aquestes úlceres (Schaper, Apelqvist & Bakker, 2003), per tant, identificar-ne l'aparició imminent esdevé un tema important.

Els símptomes previs propis de l'úlcera per peu diabètic són una inflamació, l'erupció d'una vermellor, el descoloriment de la pell o el teixit ennegrit al voltant de l'úlcera. Es defineixen quatre estadis d'evolució (Vijean et al., 2022):

**Estadi 0:** no s'observa cap úlcera, però és susceptible d'aparèixer.

**Estadi 1:** hi ha úlcera, però no hi ha infecció.

**Estadi 2:** l'úlcera es fa profunda i pot exposar tendons i articulacions.

**Estadi 3:** l'úlcera es complica i evoluciona de forma greu, conduint a última instància a l'amputació.

La idea principal, doncs, és poder detectar la possible úlcera i, per tant, actuar a la fase zero, tenint en compte els símptomes que s'han identificat a través dels estudis clínics.

La combinació dels dos factors clau, com són la pèrdua sensorial i l'augment de la pressió plantar, és habitual en pacients diabètics amb úlceres (Boulton, Betts, Franks, Newrick, Ward & Duckworth, 1987). Habitualment, l'úlcera es forma a la planta del peu a sota les callositats i no es pot sentir a causa de la neuropatia diabètica (Vijean et al., 2022). Per altra banda, la inflamació prèvia a l'úlcera inclou un augment de temperatura a la zona. Aquest augment de temperatura es pot monitoritzar i fer-se servir per a la detecció precoç (Liu, Van Der Heijden, Klein, Van Baal, Bus, Van Netten et al., 2013). Tots ells són factors que es tenen en compte a l'hora de desenvolupar productes adequats per a la detecció d'una úlcera imminent.

Per altra banda, hi ha autors que consideren important educar el pacient perquè ell mateix pugui prevenir l'úlcer a través de cures regulars (Yazdanpanah, 2015). Aquest considera que mitjançant una educació efectiva es podrien reduir els casos d'ulceració fins a un 50 %. Aquesta educació passa per la necessitat d'autoexploració (a vegades dificultada per una deficiència visual fruit de la mateixa malaltia), monitoritzar la temperatura del peu, una higiene diària apropiada, l'ús de calçat adequat i el control dels nivells de sucre en sang. Per això es considera important el desenvolupament de productes que es puguin fer servir tant en l'àmbit clínic com en l'àmbit privat, i que, per tant, ajudin a l'autoexploració. Per altra banda, reduir o eliminar les àrees focals de pressió és una part clau per a la cura de l'úlcer (Tyrrell, 1999). Per tant, s'entén que definir on es poden trobar els punts de màxima pressió durant la marxa normal del pacient, és un factor positiu en la prevenció de les complicacions del peu diabètic.

A través dels estudis revisats queda clar que el peu diabètic és un problema important en el desenvolupament de la malaltia a llarg termini, a continuació es revisen propostes per a l'avaluació i monitorització del principal factor causant de la lesió, la pressió plantar, i la monitorització de la temperatura, com a símptoma previ a l'aparició de l'úlcer.

## **2. Revisió general de dispositius i estudis existents per a la monitorització de la pressió i temperatura plantar**

Des de diversos àmbits es proposa l'ús de la tecnologia per a la detecció precoç dels símptomes que provoquen l'úlcer, i prevenir complicacions (Vijejan et al., 2022). Entre les opcions, la monitorització de la temperatura de la pell va sorgir per primera vegada a la dècada dels 70 del segle XX com a eina potencialment útil per a identificar pacients amb risc d'ulceració (Frykberg, Gordon, Reyzelman, Cazzell, Fitzgerald, Rothenberg et al., 2017). Estudis recents mostren la seva eficàcia: com el cas de la Universiti Malaysia

Perlis on s'ha desenvolupat un prototip per a la detecció precoç i l'avaluació del nivell de gravetat de l'úlçera oferint una solució que pot fer servir el pacient fora de l'àmbit hospitalari i li ofereix conèixer fàcilment l'estat del peu. El prototip (vegeu figura 1) inclou cinc sensors de temperatura capaços de mesurar la temperatura de la pell superficial i les seves variacions, que en el cas de les persones amb diabetis sol estar entre 32 i 35 °C; un motor de vibració amb una freqüència de 128 Hz adequada per avaluar la neuropatia perifèrica (si el pacient no nota la vibració, es demostra la pèrdua de sensibilitat) i un sensor de pes per al mesurament de l'índex de massa corporal. Les dades s'envien a temps real a un dispositiu de referència. El prototip es pot utilitzar tant a casa com als centres mèdics, ja que les dades s'envien a l'equip mèdic que controla l'evolució del pacient (Vijean et al., 2022). També inclou una aplicació mòbil que és capaç d'alertar a la persona si detecta alguna variació que significa l'aparició d'una úlçera.

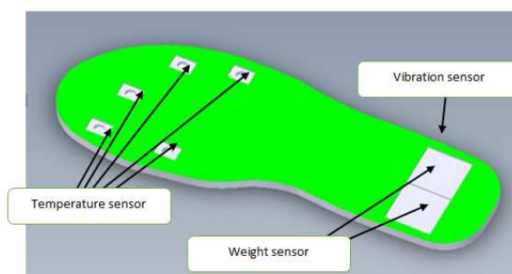


Figura 1. Distribució dels sensors a Vijean (2012)

Altres projectes que treballen en el desenvolupament d'equipament electrònic capaç de col·laborar en un diagnosi premèdic del peu diabètic tenen un enfocament més global on es valoren també la freqüència cardíaca del pacient, la impedància muscular, l'elasticitat dels vasos sanguinis, a part de la glucosa, la temperatura o la diferenciació de color en certes àrees específiques del peu (Gutierrez Martinez, Ramos-Becerril, Leija, Lopez, Garcia, Vera o et al., 2014).

La investigació de Gutierrez Martinez et al. (2014) proposa sensors de temperatura a les quatre zones de la planta del peu més susceptibles de desenvolupar una úlcera (vegeu figura 2). Es posicionen 4 sensors que es col·loquen a la sola de la sabata. Aquests sensors mesuren la temperatura trenta vegades per minut, la mitjana d'aquest mesurament es guarda a la memòria del sistema. S'analitza cada peu durant 15 min., tenint en compte que la temperatura s'estabilitza a partir del minut 8.

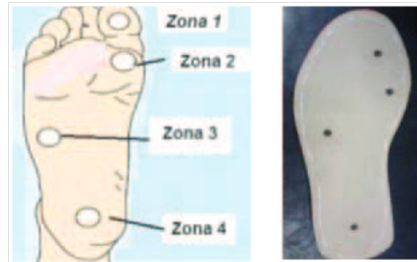


Figura 2. Àrea del peu on mesurar temperatura i col·locació dels sensors en una plantilla (Gutierrez Martinez et al., 20014)

La diferència de temperatura entre la mateixa zona de cada peu és símptoma d'una variació en l'estat de salut del peu que mostra l'augment de temperatura.

El 2018 es presenta un estudi per a la monitorització de la temperatura del peu a través de mitjans amb sensors sense cable, que es poden fer servir diàriament i que permeten una monitorització constant sense haver de desplaçar-se a l'entorn clínic. Aquesta recollida de dades també va associada a una aplicació mòbil que compara les temperatures del peu dret i esquerre per detectar-ne possibles augments i, per tant, l'aparició imminent d'una úlcera (Reyzelman, Koelewyn, Murphy, Shen, Yu, Pillai et al., 2018). Diferents articles conclouen que la detecció de possibles úlceres a través del control de la temperatura cutània es defineix amb un gradient de 2,2 °C (Fraiwan, Al-Lhodari, Ninan, Mustafa, Saleh & Ghazal, 2017; Lavery, Higgins, Lanctot, Constantinides, Zamorano, Athanasiou et al., 2007; Liu, et al., 2013; Reyzelman et al., 2018). L'estudi de Reyzelman et al. (2018) ressalta la comoditat del producte i la consistència de la presa de mesures a través del mitjà intel·ligent. El canvi de temperatura de la superfície de la pell pot aparèixer a

partir de 5 setmanes abans (Frykberg et al., 2017) i fins a una setmana abans (Fraiwan et al., 2017; Liu et al., 2013) de l'aparició de l'úlcer, per tant, la detecció del canvi de temperatura, permet alertar al pacient i a l'especialista.

El desenvolupament de *wearables* permet apartar-se d'altres sistemes de presa de mesures més aparatosos, com per exemple a través de la imatge. Segons Liu et al. (2013), University of Twente (Holanda), existeixen quatre tècniques relacionades amb la imatge que es fan servir per detectar símptomes d'ulceració: la imatge tèrmica, l'escaneig de la planta del peu, la imatge fotogràfica i la imatge hiperespectral. Frykberg et al. (2017) planteja una màrrega que sensoritza la temperatura de la planta. El pacient s'hi col·loca a sobre durant 20 segons un cop al dia per a l'extracció de dades.

Existeixen diverses propostes de *wearables* que treballen per a la detecció dels canvis de temperatura: amb fibra òptica (Najafi, Mohseni, Grewal, Talal, Menzies & Armstrong, 2017) o amb mitjons cablejats que controlen la temperatura cada certs minuts (El-Nahas, El-Shazly, El-gamel, Motawea, Kyrillos & Idrees, 2018), o també existeix l'opció de col·locar els sensors en una plantilla, tal com s'ha vist anteriorment (Gutierrez Martinez et al., 2014; Vijejan et al., 2022).

En canvi, el mitjó intel·ligent que presenta Reyzelman et al. (2018) permet mesurar la temperatura de forma permanent evitant falsos positius a través de mitjons confeccionats amb microsensors incrustats en un teixit capaç de transmetre les dades sense fils, es poden rentar i es poden produir de forma industrial amb maquinària estàndard. Es col·loquen sis sensors a la planta del peu i un controlador a la part inferior de la cama (vegeu figura 3).

L'estudi de Reyzelman et al. (2018) revela la possibilitat de monitoritzar la temperatura plantar i es planteja com a següent repte contrastar la presa de temperatura amb el seguiment de l'activitat de la persona, amb l'objectiu de reduir el grau de subjectivitat en la

detecció precoç de les úlceres. Aquest mitjà es pot trobar a la venda sota la marca Siren Diabetic Socks<sup>1</sup>.

Per altra banda, no s'hauria de descartar la monitorització de la pressió plantar, ja que com s'ha vist a la revisió de literatura és el principal factor que causa l'úlceres (Tyrrell, 1999). Així doncs, es pot entendre que la monitorització de la pressió a la planta del peu és

un pas previ per a la prevenció (El-Nahas et al., 2018). Al mercat es poden trobar plantilles que sensoritzen la pressió com les que proporciona Vandrico Inc<sup>2</sup>. Altres solucions comercials també són Podimetrics<sup>3</sup>, Orpyx<sup>4</sup> o Fscan<sup>5</sup>, que mesuren pressió i temperatura plantar, entre altres qüestions.

Segons el consens internacional, les úlceres es desenvolupen amb més freqüència al dit gros, als caps metatarsians, a la part mitjana medial i al centre del calc. La distribució de sensors vista fins al moment, segueix aquesta pauta. A grans trets el peu es divideix en tres zones, posterior, mitjana i anterior (Sawacha et al., 2012), i s'indica que les zones susceptibles de desenvolupar úlceres són la part anterior i mitjana, per tant, la zona dels dits i la zona central, i amb menys probabilitat, la zona del taló.



Figura 3. (A) Bateria, controlador i xip Bluetooth (B) Planta del mitjà amb la col·locació dels sensors (Reyzelman et al., 2018)

<sup>1</sup> Per més informació vegeu <https://www.siren.care/blog/siren-diabetic-socks-work>

<sup>2</sup> Per més informació vegeu <https://vandrico.com/wearables/device/surrosense-rx-system.html>

<sup>3</sup> Per més informació vegeu <https://podimetrics.com/>

<sup>4</sup> Per més informació vegeu <https://www.orpyx.com/>

<sup>5</sup> Per més informació vegeu <https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/fscan-system>

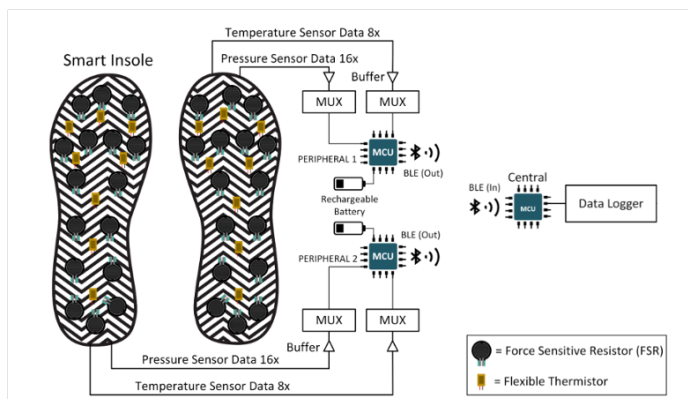


Figura 4. Diagrama del sistema de blocs per a sola sensitiva (Khandakar et al., 2022)

Les diferents zones plantars definides actuen en diferents moments del cicle de la marxa, quan cada una d'elles està en contacte amb el terra. El calc durant l'impacte amb el terra, els segments de la part mitjana i anterior durant la fase mitjana, i els dits determinen la pressió en la fase de propulsió (Amemiya et al., 2014).

Una monitorització de la pressió plantar en moments de marxa normal fora de laboratori pot aportar informació valuosa al personal mèdic per indicar el tipus de calçat més adequat per al pacient. En el seu estudi de la marxa, Sawacha et al. (2012) defineix diverses variables a tenir en compte, com per exemple, la màxima pressió plantar, l'índex de temps de pic, la diferent pressió en cada fase, l'amplitud de la passa, l'equilibri o el control de l'aterratge i la propulsió de cada pas.

A l'estudi d'El-Nahas et al. (2018) es demostra la correlació entre les zones de major pressió, el canvi de temperatura i l'aparició de la lesió, tenint en compte també les pressions de cisalla i no només les verticals, com també han destacat altres autors (Sawacha et al., 2012). En aquest estudi es treballa amb sensors tèrmics tèxtils integrats a la tela del mitjó que mesura la temperatura en condicions



de vida real. La part superior del mitjà es connecta a una unitat central a través de la qual els canvis de resistència del sensor es converteixen en canvis de temperatura. La pressió es mesura a través d'un sistema MatScan (El-Nahas et al., 2018).

La revisió de literatura realitzada valida la recerca en aquesta direcció. Segons Saliba Thorne, Gatt, DeRaffaele, Bazena i Formosa (2021) els resultats dels diversos estudis demostren un rendiment excel·lent en la detecció dels canvis de temperatura de la pell i la pressió exercida pel calçat, tot i que considera que encara cal fer proves addicionals per validar amb pacients els sistemes desenvolupats fins al moment. Segons aquesta revisió, queda pendent una visió més holística del microclima del peu que inclogui humitat, pH, temperatura, i pressions de cisalla (Saliba Thorne et al., 2021). També Salvo, Calisi, Melai, Dini, Paoletti, Lomonaco et al. (2017) fa esment de la introducció del pH com a element susceptible de ser monitoritzat.

Cal esmentar que existeixen dispositius electrònics disponibles comercialment per mesurar la pressió plantar utilitzant sensors piezoelèctrics, així com sensors capacitius (Khandakar, Mahmud, Chowdhury, Reaz, Kiranyaz, Mahbub et al., 2022). En aquest estudi publicat el 2022, es presenta una altra proposta de sola sensitiva que mesura la pressió i la temperatura de forma dinàmica (Figura 4), i amb les dades obtingudes és capaç de generar mapes de temperatura i pressió. Aquests mapes són els que han de permetre al personal mèdic prendre decisions en relació al tractament del pacient.

### **3. Conclusions**

Fruit de la recerca bibliogràfica realitzada, es pot concloure que l'aplicació de sensors per monitoritzar la temperatura i les pressions exercides a la planta del peu, així com les seves variacions són un recorregut acceptat tal com es pot llegir en els diversos estudis. Recopilacions prèvies com la de Saliba Thorne et al. (2021) indiquen la necessitat de fer estudis més exigents en relació amb la verificació de la funcionalitat a nivell clínic, ja que fins al moment, els productes

desenvolupats no han entrat a formar part de les consultes mèdiques. Siren Diabetic Socks són un exemple per a la sensorització de la temperatura en un grau de desenvolupament elevat. Les plantilles de Vandrico Inc són un exemple pel control de la pressió plantar, però tenen un preu elevat (a la web indica 3.399 dòlars). Per tant, es considera que hi ha recorregut de recerca i que es pot recollir la feina feta fins al moment i continuar una recerca en aquesta línia.

Es planteja per una banda, indagar les necessitats del pacient i del personal mèdic per poder definir de forma precisa les zones plantars que cal monitoritzar (dits, primer metatarsià, arc del peu i taló), com a zones habituals de lesió, ja que cal fer un treball antropomètric i tenir en compte les variacions plantars que s'esdevenen per deformacions permanents o esporàdiques i que afecten a la majoria de persones diabètiques propenses a l'úlcer. Per tant, l'objectiu és poder sensoritzar de forma eficaç la major superfície del peu possible.

Per altra banda, es planteja indagar en les possibilitats de sensorització i monitorització de les dades amb l'objectiu de ser una eina d'alerta de possibles canvis tant de temperatura com de pressions habituals. Cal poder concretar els rangs de temperatura i pressió i la seva variabilitat. També es valora la inclusió d'altres qüestions com la humitat i el pH, així com treballar per poder monitoritzar l'acció de cisalla que crea el calçat o la inclusió de sensors per la monitorització dels senyals d'accelerometria en la biomecànica de la marxa, que permetria aportar informació de possibles irregularitats o desviacions del moviment.

## Referències

Al-Rubeaan, K., Al Derwish, M., Ouizi, S., Youssef, A. M., Subhani, S. N., Ibrahim, H. M. et al. (2015). Diabetic Foot Complications and Their Risk Factors from a Large Retrospective Cohort Study. *Plos One*, 10(5), e0124446. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124446>

- Amemiya, A., Noguchi, H., Oe, M., Ohashi, Y., Ueki, K., Kadowaki, T., Mori, T. et al. (2014). Elevated plantar pressure in diabetic patients and its relationship with their gait features. *Gait & Posture*, 40(3), 408-414. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.05.063>
- Boulton, A. J. M., Betts, R. P., Franks, C. I., Newrick, P. G., Ward, J. D., & Duckworth, T. (1987). Abnormalities of Foot Pressure in Early Diabetic Neuropathy. *Diabetic Medicine*, 4(3), 225-228. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.1987.tb00867.x>
- El-Nahas, M., El-Shazly, S., El-gamel, F., Motawea, M., Kyrillos, F., & Idrees, H. (2018). Relationship between skin temperature monitoring with Smart Socks and plantar pressure distribution: A pilot study. *Journal of Wound Care*, 27(8), 536-541. <https://doi.org/10.12968/jowc.2018.27.8.536>
- Fraiwan, L., Al-Khodari, M., Ninan, J., Mustafa, B., Saleh, A., & Ghazal, M. (2017). Diabetic foot ulcer mobile detection system using smart phone thermal camera: A feasibility study. *BioMedical Engineering OnLine*, 16(1), 117. <https://doi.org/10.1186/s12938-017-0408-x>
- Frykberg, R. G., Gordon, I. L., Reyzelman, A. M., Cazzell, S. M., Fitzgerald, R. H., Rothenberg, G. M. et al. (2017). Feasibility and Efficacy of a Smart Mat Technology to Predict Development of Diabetic Plantar Ulcers. *Diabetes Care*, 40(7), 973-980. <https://doi.org/10.2337/dc16-2294>
- Gutierrez Martinez, J., Ramos-Becerril, F. J., Leija, L., Lopez, F., Garcia, U., Vera, A. et al. (2014). Development of an electronic equipment for the pre medical diagnose in the progress of diabetic foot disease. 2014 *International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 679-683. <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2014.6996978>
- Khandakar, A., Mahmud, S., Chowdhury, M. E. H., Reaz, M. B. I., Kiranyaz, S., Mahbub, Z. B. et al. (2022). Design and Implementation of a Smart Insole System to Measure Plantar Pressure and Temperature. *Sensors*, 22(19), 7599. <https://doi.org/10.3390/s22197599>
- Lavery, L. A., Higgins, K. R., Lanctot, D. R., Constantinides, G. P., Zamorano, R. G., Athanasiou, K. A. et al. (2007). Preventing Diabetic Foot Ulcer Recurrence in High-Risk Patients. *Diabetes Care*, 30(1), 14-20. <https://doi.org/10.2337/dc06-1600>
- Liu, C., Van Der Heijden, F., Klein, M. E., Van Baal, J. G., Bus, S. A., & Van Netten, J. J. (2013). Infrared dermal thermography on diabetic feet soles to predict ulcerations: A case study (A. Mahadevan-Jansen, T. Vo-Dinh, & W. S. Grundfest, Ed.; p. 85720N). <https://doi.org/10.1117/12.2001807>
- Najafi, B., Mohseni, H., Grewal, G. S., Talal, T. K., Menzies, R. A., & Armstrong, D. G. (2017). An Optical-Fiber-Based Smart Textile (Smart Socks) to Manage Biomechanical Risk Factors Associated With Diabetic Foot Amputation. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 11(4), 668-677. <https://doi.org/10.1177/1932296817709022>

- Reyzelman, A. M., Koelewyn, K., Murphy, M., Shen, X., Yu, E., Pillai, R. et al. (2018). Continuous Temperature-Monitoring Socks for Home Use in Patients With Diabetes: Observational Study. *Journal of Medical Internet Research*, 20(12), e12460. <https://doi.org/10.2196/12460>
- Saliba Thorne, C., Gatt, A., DeRaffaele, C., Bazena, A., & Formosa, C. (2021). Digital foot health technology and diabetic foot monitoring: A systematic review. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 175, 108783. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108783>
- Salvo, P., Calisi, N., Melai, B., Dini, V., Paoletti, C., Lomonaco, T. et al. (2017). Temperature- and pH-sensitive wearable materials for monitoring foot ulcers. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 949-954. <https://doi.org/10.2147/IJN.S121726>
- Sawacha, Z., Guarneri, G., Cristoferi, G., Guiotto, A., Avogaro, A., & Cobelli, C. (2012). Integrated kinematics–kinetics–plantar pressure data analysis: A useful tool for characterizing diabetic foot biomechanics. *Gait & Posture*, 36(1), 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.12.007>
- Schaper, N. C., Apelqvist, J., & Bakker, K. (2003). The International Consensus and practical guidelines on the management and prevention of the diabetic foot. *Current Diabetes Reports*, 3(6), 475-479. <https://doi.org/10.1007/s11892-003-0010-4>
- Shaw, J. E., Sicree, R. A., & Zimmet, P. Z. (2010). Global estimates of the prevalence of diabetes for 2010 and 2030. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 87(1), 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2009.10.007>
- Singh, N. (2005). Preventing Foot Ulcers in Patients With Diabetes. *JAMA*, 293(2), 217. <https://doi.org/10.1001/jama.293.2.217>
- Tyrrell, W. (1999). Orthotic intervention in patients with diabetic foot ulceration. *Journal of Wound Care*, 8(10), 530-532. <https://doi.org/10.12968/jowc.1999.8.10.26212>
- Vijean, V., Mohammed, S. A., Ahmad, R., Amneera Wan Ahmad, W. A., Santiagoo, R., Ahmad, A. G. et al. (2022). Early Detection of Diabetic Foot Ulcers through Wearable Shoe Design. *2022 4th International Conference on Artificial Intelligence and Speech Technology (AIST)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/AIST55798.2022.10065150>
- Yazdanpanah, L. (2015). Literature review on the management of diabetic foot ulcer. *World Journal of Diabetes*, 6(1), 37. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i1.37>

# El empleo de *Washi* en instituciones de salvaguarda de patrimonio sobre papel en Europa

---

**Eugenio Rabanedo-Cerrillo, M. Blanca Roncero, Oriol Cusola**

Paper Engineering Research Group (CELBIOTECH), ESEIAAT  
Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## Resumen

El *washi* –también conocido como papel japonés–, es uno de los productos de la industria papelera más frecuentemente empleados para la restauración y conservación de patrimonio cultural, documental y gráfico sobre papel. Entre sus características principales están su alto grado de transparencia, sus propiedades físico-mecánicas y de envejecimiento, muy importantes para garantizar la estabilidad de los objetos a conservar. Su producción, de origen hegemónico nipón, es muy variada en diversos factores, entre los que caben destacar la composición fibrosa del papel, el tipo de blanqueo que se le realiza, el sistema de fabricación o el gramaje, entre otros. Todos estos factores, dentro de la poca información que los fabricantes ofrecen sobre este producto, se consideran relevantes a la hora de escoger el papel con las características más óptimas.

Este estudio, mediante una revisión bibliográfica y una encuesta realizada a siete instituciones de renombre, de salvaguarda de patrimonio cultural sobre papel -de carácter privado, público y académico- dentro del ámbito europeo, busca aglutinar y esclarecer el empleo del *washi* en occidente, además de establecer cuáles son las características más valoradas por los profesionales de la salvaguarda de patrimonio a la hora de comprar y emplear este producto.

## Abstract

*Washi* –commonly known as Japanese paper– is one of the main products used in Paper Conservation, and conforms a specific, but constant, demand within the papermaking industry. Among the many characteristics of the *washi*, it is worth to highlight its high level of transparency, physical and mechanical properties and good ageing, very needed to assure the stability of the paper object preserved. This type of

paper, mainly done in Japan, has a lot of variations due to the different products and steps followed during the papermaking process, such as the origin, composition and cooking conditions of the fibre, the bleaching treatments applied on it or the papermaking system used; and other relevant characteristics once the washi leaf is formed, such as grammage, thickness, optical properties or pH, within others. All this factors -most of the times not specified by the manufacturer-, are considered to be of relevance for choosing the more appropriate conservation paper for the diverse preservation works.

This article is focused on gathering and stablishing the predominant criteria followed by paper conservators in Europe, when *washi* is used in paper conservation procedures, through a survey ran among eight different Paper Preservation departments in different countries, in public and private sector, to stablish which are considered to be the most valuable characteristics to have in account when purchasing this type of paper.

---

## 1. *Washi* como papel de conservación en Europa

### 1.1. *Situación actual*

Desde principios del siglo XX, diversos talleres de papel tradicional de Japón empiezan a exportar sus artículos a Occidente. Cabe destacar la papelería Moriki, inaugurada en 1925, que exporta papel directamente a Estados Unidos en 1979 (Mizumura, Kubo & Moriki, 2015).

Actualmente, las líneas de distribución del papel japonés hacia los Estados Unidos y Europa son suplidas por intermediarios como el Japanese Paper Place en Canadá, o Berrick Brothers Ltd, que distribuyen papel a Reino Unido desde 1983 (Mizumura et al., 2015). Los distribuidores a nivel nacional son Arte y memoria S.A, y Productos de Conservación S.A, que compran los papeles a otros distribuidores internacionales como Japico, Paper Nao o Moriki Paper. Encuestas previas, realizadas por otros autores, como Soleymani, secundan el predominio de los papeles japoneses en la conservación de papel occidental. La encuesta realizada por esta autora en 2015, incluía un total de 145 participantes de Estados Unidos, Europa,

América Latina o Asia, de los cuales 143 afirmaban emplear este material para realizar sus labores de C+R (Soleymani, Ireland & McNevin, 2015).

La tabla 1 (Mizumura et al., 2015) muestra la lista de papeles japoneses empleados en la mayoría de estudios de conservación de obra gráfica en Reino Unido durante los últimos 30 años. Mizura, Kubo y Moriki, afirman que dos tercios de estos papeles contienen de

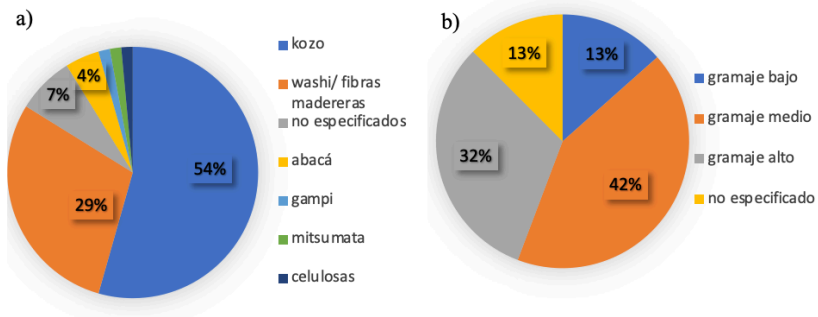


Figura 1. Composición en fibras (a) y gramajes (b) de los papeles más empleados en las instituciones encuestadas.

un 10 % a un 70 % de pulpa maderera en su composición. Esta presencia de fibras madereras occidentales, sometidas a procesos de blanqueo químico, y teñidas posteriormente para obtener el color característico de los papeles *washi*, conlleva a un mayor y más veloz envejecimiento del papel japonés (Figura 1a) (Masuda, 2016; Mizumura et al., 2015).

Es destacable también el predominio de la fibra de kozo en la composición de la mayoría de estos papeles, patrón repetido también en la mayoría de las instituciones encuestadas durante el desarrollo de esta investigación (Figura 1a), que incluyen los Archivos Nacionales de Estonia (Tabla 2), el Staatliche Graphische Sammlung München (Tabla 3), el Instituto de Patrimonio Cultural Español (Tabla

4), el departamento de Restauración de Obra Gráfica de Basel University Library (Tabla 5), el departamento de conservación de Obra Gráfica del Museo Nacional de Suecia (Tabla 6), los National Records of Scotland (Tabla 7) o el taller privado de Restorient (Tabla 8), regentado por dos antiguos profesionales de la conservación del V&A Museum, especializados en técnicas y materiales de conservación tradicionales japoneses.

La fibra de kozo ha dado lugar a diversos papeles de conservación con funciones específicas dentro del campo. Papeles como *minogami*, *sekishu shi*, *tengujo*, *uda gami* y *misu* están compuestos de fibras de kozo, y son los papeles empleados con mayor frecuencia en la C+R en occidente. La característica distintiva de estos papeles reside en el tratamiento de blanqueo, o el sistema de secado al que han sido sometidos los papeles. La flexibilidad y suavidad de las fibras de kozo, permite una buena formación de la hoja de papel y una adhesión firme y estable, incluso con soluciones adhesivas muy diluidas (Webber, 2006).

Entre las distintas instituciones encuestadas (Figura 2b) predomina el empleo de papel de conservación hecho a máquina sobre el hecho a mano. Algunos de los papeles washi contemporáneos se realizan incluyendo muchas de las técnicas de fabricación industrial de papel a fin de disminuir costes de producción y tiempo (Prestowitz & Katayama, 2018). En el caso de la fabricación a máquina, hay una mayor direccionalidad de las fibras que repercute en las propiedades físico-mecánicas del papel. Un estudio de Nicholson y Page determinó que los washi de fibras de kozo hechos a máquina tienen una mayor resistencia físico- mecánica que los hechos a mano, dentro de valores de espesor iguales, siendo esta resistencia hasta cuatro veces mayor en dirección máquina que en dirección transversal (Colbourne & Hori, 2015).



Nombre	Descripción
<i>Arakaji</i> natural	Hecho a mano, kozo y pasta al sulfito, (porcentajes no especificados)
<i>Atsukuchi</i>	Hecho a mano, 70% kozo, 30% pasta al sulfito
<i>Gampi</i>	Hecho a mano/máquina, 100% gampi japonés, pH neutro
<i>Kawanaka</i>	Hecho a mano, 80% kozo, 20% pasta al sulfito, pH neutro
<i>Kitakata</i> natural	Hecho a máquina, 90% gampi filipino, 10% pasta (sin especificar), pH neutro
Kozu-shi	Hecho a mano, 70% kozo, 30% pasta al sulfito, pH neutro
<i>Maruishi</i>	Hecho a máquina, 100% abacá, pH neutro
<i>Shoji</i>	Hecho a máquina, 30% kozo, 70% pasta (proceso no especificado)
<i>Tengujo</i>	Hecho a máquina, 100% kozo, cooked in Sodium Carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
<i>Tonosawa</i>	Nombre europeo para Kitakata natural (Nombre en EEUU)
Tosa - <i>shoji</i>	Hecho a mano/máquina, 50% kozo, 50% pasta al sulfito, pH 7,5
Tosa- <i>washi</i>	Hecho a máquina, kozo y pasta al sulfito (porcentajes no especificados), pH neutro
<i>Usumino</i>	Hecho a mano, 100% kozo, cooked in Sodium Carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Tabla 1. Papeles japoneses más comunes en la Conservación de papel en Occidente. (Mizumura, Kubo & Moriki, 2015)

EL EMPLEO DE WASHI EN INSTITUCIONES DE SALVAGUARDA DE PATRIMONIO SOBRE PAPEL EN EUROPA

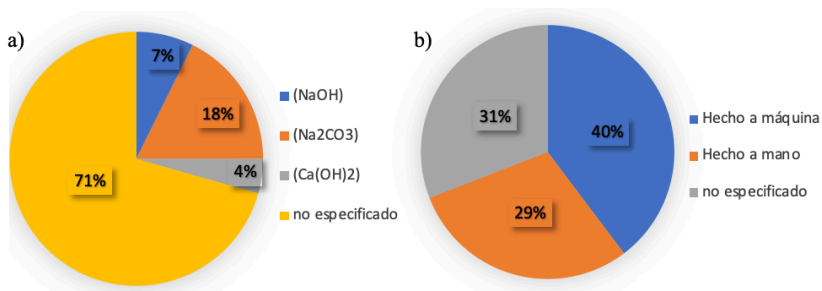


Figura 2. Agentes de blanqueo (a) y sistemas de fabricación (b) de los papeles más empleados en las instituciones encuestadas.

Nombre	Descripción
<i>Tengujo 115108</i>	Hecho a máquina, 5 g/m <sup>2</sup> , 100 x 1000 mm roll, 100% kozo
<i>PaperNao RK-0</i>	Hecho a máquina, 5 g/m <sup>2</sup> , 100 x 1000 mm roll, 100% tosa kozo, pH 7,3
<i>PaperNao RK-28</i>	Hecho a máquina, 39 g/m <sup>2</sup> , 1000 mm wide roll, 100% kozo
<i>Tosa Tengujo-shi</i>	Hecho a máquina, tono natural, 2 g/m <sup>2</sup> ; 7,3 g/m <sup>2</sup> ; 18 g/m <sup>2</sup> ; 34 g/m <sup>2</sup> – 1000 mm wide rolls, 100% kozo, cocción con carbonato de sodio, pH neutro
<i>Tosa Tengujo-shi</i>	Hecho a máquina, teñido, 12 g/m <sup>2</sup> ; 18 g/m <sup>2</sup> ; 24 g/m <sup>2</sup> ; 34 g/m <sup>2</sup> - 1000 mm wide rolls, 100% kozo, cocción con carbonato de sodio, pH neutro
<i>JWB Kozo KR4</i>	Hecho a máquina, 3,7 g/m <sup>2</sup> - 1000 mm wide rolls, 100% kozo, pH 7,3
<i>JWB Arakaji Natural</i>	Hecho a mano, 31 g/m <sup>2</sup> , 610 mm x 980 mm, 40% Thai kozo, 60% celulosas, pH 6,8
<i>Shibori</i>	Hecho a mano, 29 g/m <sup>2</sup> , 680 mm x 1030 mm, 100% kozo, pH 7,4

Tabla 2. Papeles japoneses más empleados en los Archivos Nacionales de Estonia (Tartu) entre el 2015 y el 2021.

Los agentes de blanqueo de la fibra más usados en los papeles empleados por las instituciones encuestadas son el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) o el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (Figura 2a). En algunos casos el blanqueo de la fibra se realiza mediante agentes blanqueadores químicos. El empleo de sistemas de blanqueo químicos da lugar a papel *washi* de calidad mala, con poca estabilidad frente al envejecimiento porque las fibras contienen más impurezas, están más dañadas y residuos que afectan a las fibras a largo plazo, si se han empleado agentes de blanqueo que contienen cloro (Prestowitz & Katayama, 2018). El pH de los papeles tiende a ser neutro-alcalino, y destaca el uso de un solo tipo de fibra en los papeles, aunque hay algunos casos en los que los papeles contienen pastas madereras (Tabla 6), celulosas (Tabla 3) u otros tipos de fibra como abacá (Tabla 5). Barrow y Sproull mostraron, en 1959, que la pérdida de propiedades físicas y mecánicas del papel, como la resistencia al doble pliegue o la resistencia al desgarro están muy relacionadas con la acidez (pH) del papel (Soleymani, Ireland & McNevin, 2017). Si el pH de los papeles de conservación de kozo se sitúa por debajo del 5, las propiedades físico-mecánicas y la estabilidad tonal del papel caen de manera exponencial (Stephens & Whitmore, 2013). Los casos en los que el pH de estos papeles es 5 o inferior, es aquellos en los que la fibra oriental (kozo, gampi, mitsumata) se encuentra mezclada con un porcentaje alto (40 %) de fibras madereras (Masuda, 2016).

El tipo de secado que predomina en los papeles de conservación empleados en las instituciones encuestadas es el de las placas de acero calientes sobre las placas de madera. Si bien esto se especifica solo en 17 de los 68 papeles empleados, se presupone que, en el resto de los papeles, sobre todo los hechos a máquina, se sigue la misma tendencia, ya que es más económico y rápido.

Nombre comercial	Descripción
<i>PaperNao K-25</i>	Hecho a mano, 100% kozo, 25 g/m <sup>2</sup> , 54 x 74 cm, cocción con carbonato sódico, secado planchade acero
<i>Arakaji</i>	33 g/m <sup>2</sup> , pH 6,7
<i>Iyo Masashi</i>	62 g/m <sup>2</sup> , 100% celulosas, pH 5,5,
<i>Kawanaka</i>	29 g/m <sup>2</sup> , 50% Kozo, 50% celulosas, pH 6,8
<i>Sekishu shi, 632380</i>	31 g/m <sup>2</sup> , pH 7,2
<i>Shibori M8</i>	29 g/m <sup>2</sup> , 100% Kozo, pH 7,4
<i>Shiohara, 634670</i>	40 g/m <sup>2</sup> , pH 6,8
<i>Shojigami M5, 632880</i>	43 g/m <sup>2</sup> , pH 6,8
<i>Tengujo Kaschmir 825502</i>	9 g/m <sup>2</sup> , 100% abacá, pH 6,7
<i>Tengujo 825508</i>	17,5 g/m <sup>2</sup> , 100% abacá, pH 6,7
<i>Tosa Shi 632950</i>	54 g/m <sup>2</sup> , 40% Kozo, 60% celulosas, pH 6,7
<i>Tosa Ushushi 632060</i>	15 g/m <sup>2</sup> , 100% kozo, pH 7
<i>Ungebleicht</i>	3,8 g/m <sup>2</sup> , 100% Kozo, pH 7,3

Tabla 3. Papeles japoneses más empleados en el departamento de Restauración de Obra Gráfica de la Staatliche Graphische Sammlung München (Alemania).

El secado sobre planchas de madera es el tradicional de la fabricación del washi, y da lugar a papeles con una estabilidad dimensional mayor frente a cambios de HR y temperatura. Los papeles secados sobre planchas de acero calentadas a altas temperaturas tienen una higroscopicidad mayor, generando un mayor estrés en el papel y haciéndolo altamente reactivo a la humedad, especialmente en dirección transversal. Contribuye también a generar una superficie más rugosa. Esto hace que trabajar con estos papeles sea problemático, en un contexto acuoso, en comparación con los

papeles tradicionalmente hechos a mano (Prestowitz & Katayama, 2018; Colbourne & Hori, 2015; Song, 2015). En los gramajes de los washi empleados en todas las instituciones, se aprecia un patrón: papeles de gramaje bajo (2 g/m<sup>2</sup> y los 8 g/m<sup>2</sup>); papeles de gramaje medio (9 g/m<sup>2</sup> y 18 g/m<sup>2</sup>) y papeles de gramaje alto (20 g/m<sup>2</sup> y los 70 g/m<sup>2</sup>). El gramaje depende de los tratamientos, propiedades físicas y ópticas de los papeles que van a reforzar. Los gramajes más bajos se emplean más para realizar laminaciones o reparación de rasgados.

Nombre	Descripción
<i>Sekishu</i>	13 g/m <sup>2</sup> , 19 g/m <sup>2</sup> , 34 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, Arte y Memoria
<i>Kinogawa Ivory</i>	22 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, Arte y Memoria
<i>Kozu-shi</i>	33 g/m <sup>2</sup> , 50 % kozo, 50 % pasta maderera, Arte y Memoria
<i>Kozu-shi</i>	34 g/m <sup>2</sup> , 50 % kozo, 50 % pasta maderera, Arte y Memoria
<i>Sekishu-shi</i>	31 g/m <sup>2</sup> , 70 % kozo, 30 % pasta maderera, 61 x 99 cm, Japico
<i>Udagami</i>	50 g/m <sup>2</sup> , 80 % kozo, 20 % pasta maderera, 63 x 94 cm, Japico
<i>Arakaji natural</i>	33 g/m <sup>2</sup> , 50 % kozo, 50 % pasta maderera, 61 x 98 cm, Japico

Tabla 4. Papeles japoneses más empleados en el departamento de Restauración de Obra Gráfica del Instituto de Patrimonio Cultural de España, IPCE (España).

Los gramajes medios y altos se emplean en superficies de mayor volumen tridimensional como pueden ser las cubiertas y los lomos de los libros, o en otros soportes gráficos como el pergamino. En el caso de las instituciones encuestadas, aun habiendo gran variedad de gramajes empleados, se ve un predominio de papeles de gramaje medio, situado muy por encima de los papeles de gramaje bajo y gramaje alto (Figura 1b).

Nombre comercial	Descripción
<i>Paper Nao RM- 27</i>	Hecho a máquina, 18 g/m <sup>2</sup> , 100 % mitsumata, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in lime mortar (Ca(OH) <sub>2</sub> ), pH 6,6
<i>Paper Nao RK- 1</i>	Hecho a máquina, 8 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in lime mortar (Ca(OH) <sub>2</sub> ), pH 7,3
<i>Paper Nao RK- 2</i>	Hecho a máquina, 11 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in lime mortar (Ca(OH) <sub>2</sub> ), pH 7,3
<i>Paper Nao RK- 12</i>	Hecho a máquina, 20 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in caustic soda (NaOH)), pH 8,2
<i>Paper Nao RK- 15</i>	Hecho a máquina, 10 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in caustic soda (NaOH)), pH 7,2
<i>Paper Nao RK- 17</i>	Hecho a máquina, 19 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in caustic soda (NaOH)), pH 7,2
<i>Paper Nao RK- 19</i>	Hecho a máquina, 32 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in caustic soda (NaOH)), pH 7,2
<i>Paper Nao RK- 28</i>	Hecho a máquina, 39 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, secado en plancha caliente de acero inoxidable, (cooked in lime mortar (Ca(OH) <sub>2</sub> ), pH 7,3

Tabla 5. Papeles japoneses más empleados en el departamento de Restauración de Obra Gráfica de la Basel University Library (Suiza).

La producción de *washi* fabricada a mano incrementa el coste del producto. Una de las alternativas para bajar dicho coste es el empleo de procesos industriales en su fabricación. Actualmente, se emplean refinadores mecánicos como el Hollander, el blanqueo de las fibras se puede realizar con agentes químicos como la sosa caustica (NaOH) y el secado se realiza sobre planchas de acero calientes (Prestowitz & Katayama, 2018).

Nombre comercial	Descripción
<i>Ex K-37</i>	19 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, cooked in Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), wood panel dried
<i>Usumino Kizukishi</i>	Hecho a mano, 13 g/m <sup>2</sup> , 100 % Nasu kozo, wood panel dried
<i>Bunko-shi</i>	70 g/m <sup>2</sup> , 50% kozo, wood pulp (sulphite) 50 %
<i>Tengujo Kasimir</i>	9 g/m <sup>2</sup> , 50 % kozo, wood pulp (sulphite) 50 %

Tabla 6. Papeles japoneses más empleados en el departamento de Restauración de Obra Gráfica del National Museum of Sweden (Suecia).

Nombre	Descripción
<i>Mr. Hamada's Tengujo-shi</i>	Hecho a mano, 5,5 g/m <sup>2</sup> , 54 x 78 cm, 100 % kozo
<i>Usumino Nasu Kozo-shi</i>	Hecho a mano, 6,8 g/m <sup>2</sup> , 12 g/m <sup>2</sup> , 63 x 92 cm, 100 % kozo
<i>Kurotani Kizuki Kozo-shi</i>	Hecho a mano, 11,3 g/m <sup>2</sup> , 13 g/m <sup>2</sup> , 15 g/m <sup>2</sup> , 18,6 g/m <sup>2</sup> , 22,5 g/m <sup>2</sup> , 60 x 90 cm, 100 % kozo
<i>Yuukyuu-shi Yuki sarashi</i>	Hecho a mano, 10 g/m <sup>2</sup> , 15 g/m <sup>2</sup> , 22 g/m <sup>2</sup> , 63 x 94 cm, 100 % kozo
<i>Tosa Kozo Senka-shi</i>	Hecho a mano, 13 g/m <sup>2</sup> , 21 g/m <sup>2</sup> , 26 g/m <sup>2</sup> , 64 x 98 cm, 100 % kozo
<i>Sugihara-gami Nagaban</i>	Hecho a mano, 10 g/m <sup>2</sup> , 13 g/m <sup>2</sup> , 20 g/m <sup>2</sup> , 36 x 136 cm, 100 % kozo
<i>Tengu</i>	Hecho a máquina, 3,5 g/m <sup>2</sup> , 80 % kozo, 20 % abacá
<i>Toned Tengu</i>	Hecho a máquina, 3,5 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo

Tabla 7. Papeles japoneses más empleados en el departamento de Restauración de Obra Gráfica de la National Records of Scotland (Escocia).

Pese a que hay una gran cantidad de información que los proveedores no facilitan al vender estos papeles de conservación, estas son las tendencias que siguen los 68 tipos distintos de papeles empleados en las instituciones encuestadas para este proyecto (104

si se contemplan los distintos gramajes dentro del mismo tipo de papel) y que ayudan a marcar las pautas más seguidas a la hora de emplear este material para labores de conservación y restauración de patrimonio cultural sobre soporte Papel.

Nombre comercial	Descripción
<i>Yuukyuu-shi mizarashi</i>	Hecho a máquina, 11 g/m <sup>2</sup> , 15 g/m <sup>2</sup> , 19 g/m <sup>2</sup> , 22 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, 63,5 x 94 cm, cooked in Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), drying stainless panel
<i>Honsekisyuu itaboshi</i>	Hecho a mano, 11,3-13 g/m <sup>2</sup> , 15-16,8 g/m <sup>2</sup> , 18,8-19 g/m <sup>2</sup> , 22,5 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, 62 x 100 cm, cooked in Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), drying wooden panel
<i>Honsekisyuu daiyou-shi</i>	Hecho a máquina, 12 g/m <sup>2</sup> , 14 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, 64 x 97 cm, cooked in caustic soda (NaOH)
<i>Ogawa Hosokawa-shi</i>	Hecho a máquina, 15 g/m <sup>2</sup> , 18,8 g/m <sup>2</sup> , 22,5 g/m <sup>2</sup> , 100 % kozo, 60 x 90 cm, cooked in Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), drying stainless panel
<i>Hon Usumino-shi</i>	Hecho a mano, 6-7,8 g/m <sup>2</sup> , 7,9- 9 g/m <sup>2</sup> , 9,4-11 g/m <sup>2</sup> , 13,5-14,5 g/m <sup>2</sup> , 15-16,5 g/m <sup>2</sup> , 17-18,4 g/m <sup>2</sup> , 18,7-22 g/m <sup>2</sup> , 22,5- 25,9 g/m <sup>2</sup> , 65 x 98 cm, 100 % kozo, cooked in Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), drying wooden panel
<i>Usumino-shi Misen</i>	Hecho a mano, 10,5 g/m <sup>2</sup> , 10,8-12,8 g/m <sup>2</sup> , 13-15 g/m <sup>2</sup> , 60 x 90 cm, 100 % kozo, cooked in Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), drying stainless panel
<i>Usumino-shi Shipou</i>	Hecho a máquina, 8 g/m <sup>2</sup> , 9,7 g/m <sup>2</sup> , 11,5 g/m <sup>2</sup> , 62 x 97 cm, 100 % kozo, cooked in Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), drying stainless panel

Tabla 8. Papeles japoneses más empleados en el taller de restauración de Obra Gáfica Restorient (Países Bajos).

## 2. Conclusiones

El empleo y la naturaleza del washi parecen estar experimentando una evolución hacia los procesos de fabricación industrializada, que se complementa con un descenso de talleres papeleros tradicionales, y consecuentemente de la calidad de los papeles disponibles en el



mercado. Esto encuentra su razón de ser en distintas causas, y se traduce en una menor oferta y variedad en el mercado papelerero.

La fibra vegetal empleada para la fabricación del washi, extraída de plantas autóctonas que solo crecen en las condiciones climáticas de Japón, y los sistemas de producción y formación de este papel, encarecen la fabricación y transporte de este material. Esto contribuye a que productores y compradores busquen alternativas más económicas.

Hay una patente intención, por parte de las instituciones europeas, a contribuir a preservar el washi tradicional. Las propiedades ópticas de los papeles, así como su resiliencia y maleabilidad, a la hora de aplicarlo en procesos de restauración, su resistencia al envejecimiento y al amarilleamiento, son las propiedades más buscadas a la hora de escoger el papel. Los gramajes más empleados se sitúan en la horquilla de 8 a 18 g/m<sup>2</sup>, si bien gramajes más bajos y más altos tienen también una alta demanda, aunque en menor medida. Es necesaria una mayor información de los procesos de cocción de la fibra, y de los sistemas de formación y secado de las hojas, por parte de fabricantes y distribuidores.

### **Agradecimientos**

A las instituciones involucradas en este estudio: National Archives of Estonia (Estonia); Staatliche Graphische Sammlung München (Germany); Instituto de Patrimonio Cultural Español (España); Basel University Library (Switzerland); National Museum of Sweden (Sweden); National Records of Scotland (Scotland); Restorient (Netherlands).

Esta publicación es parte del proyecto PID2020-114070RB-I00 (CELLECOPROD), fundado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

El autor principal, E. Rabanedo-Cerrillo, agradece a la Universitat Politècnica de Catalunya la financiación de su proyecto predoctoral

mediante la beca FPI-UPC\_2022. Los autores también quieren agradecer el grupo de investigación AGAUR 2021 SGR 00852.

## Referencias

- Colbourne, J., & Hori, M. (2015). Modern machine-made washi and the implications for contemporary conservation practice. *Adapt & Evolve: East Asian Materials and Techniques in Western Conservation. Proceedings from the International Conference of the ICON Book & Paper Group*, 157-167. <https://icon.org.uk/node/4998>
- Masuda, K. (2016). World-wide Spread of Conservation Using Japanese Paper. In *The Association for Study of Washi Culture*.
- Mizumura, M., Kubo, T., & Moriki, T. (2015). Japanese paper: History, development and use in Western paper conservation. *Adapt & Evolve: East Asian Materials and Techniques in Western Conservation. Proceedings from the International Conference of the ICON Book & Paper Group*, 42-59. <https://icon.org.uk/node/4998>
- Prestowitz, B., & Katayama, Y. (2018). Washi: Understanding Japanese Paper as a Material of Culture and Conservation. *The Book and Paper Group Annual*, 37, 77-91.
- Soleymani, S., Ireland, T., & McNevin, D. (2015). Toning Japanese tissue papers: An international survey of paper conservation practitioners. *AICCM Bulletin*, 36(2), 116-123. <https://doi.org/10.1080/10344233.2015.1126990>
- Soleymani, S., Ireland, T., & McNevin, D. (2017). Influence of acidity on the mechanical stability of retouched Japanese tissue papers during the course of artificial ageing. *AICCM Bulletin*, 38(1), 3-14. <https://doi.org/10.1080/10344233.2017.1337324>
- Song, M. (2015). Evaluation of conservation quality Eastern papers regarding materials and process. *Adapt & Evolve: East Asian Materials and Techniques in Western Conservation. Proceedings from the International Conference of the ICON Book & Paper Group*, 137-150. <https://icon.org.uk/node/4998>
- Stephens, C. H., & Whitmore, P. M. (2013). Comparison of the degradation behavior of cotton, linen, and kozo papers. *Cellulose*, 20(3), 1099-1108. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9896-4>
- Webber, P. (2006). East and West: A unified approach to paper conservation. *Paper Conservator: Journal of the Institute of Paper Conservation*, 30, 43-56. <https://doi.org/10.1080/03094227.2006.9638432>

---

# Design and simulation of a mechanical female left arm low-elbow prosthesis for CrossFit training

---

***Edgar Isaac Rivas Hernandez***

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB)

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

***Oscar Farrerons Vidal***

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE)

Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## **Abstract**

The objective of this work was to design a mechanical prosthesis made of a polymer matrix composite material (epoxy resin) with laminated carbon fiber reinforcement (prepreg). The design was based on the patient's current condition in terms of the degree of amputation (below-elbow amputation) and the simplified idealization of the possible tensional stress of the component under service conditions. The design was done using the SolidWorks CAD program. Personalized library of composite sheet material was created by manually inputting material parameters and their respective orientations. These composite material properties were computed by means of eLamX software based on the micromechanical model of Chamis. Finally, to ensure the proper prosthesis' performance, a simulation of its mechanical behavior under service conditions was performed. This article was derived from a master's thesis in Materials Engineering, conducted in a multidisciplinary approach within the Department of Graphic Engineering and Design at EEBE.

## **Resum**

L'objectiu d'aquest treball va ser dissenyar una pròtesi mecànica feta d'un material compost de matriu polimèrica (resina epoxi) amb reforç de fibra de carboni laminat (preimpregnat). El disseny es va basar en l'estat actual del pacient pel que fa al grau

d'amputació (amputació per sota del colze) i la idealització simplificada de la possible tensió tensiva del component en condicions de servei. El disseny s'ha fet amb el programa SolidWorks CAD. La biblioteca personalitzada de material de làmina compost es va crear introduint manualment els paràmetres del material i les seves respectives orientacions. Aquestes propietats del material compost es van calcular mitjançant el programari eLamX basat en el model micromecànic de Chamis. Finalment, per garantir el bon rendiment de la pròtesi, es va realitzar una simulació del seu comportament mecànic en condicions de servei. Aquest article prové d'un Treball Fi de Màster en Enginyeria de Materials, realitzat en un enfocament multidisciplinari dins del Departament d'Enginyeria Gràfica i Disseny de l'EEBE.

## 1. Introduction

Left arm agenesis is a rare congenital defect in embryonic development. This defect leads to a unilateral or bilateral interruption of the proximal or distal growth of the upper limbs (Dohin, Coiffier-Leone, Payre, Bayle, Dohin & Gautheron, 2016). As a result, this congenital defect manifests as the complete or partial absence of the left upper limb from birth. Medically, it is often observed as a transverse defect resembling a transradial amputation (Figure 1), where the distal part is well covered with soft tissue and may have knuckles or nodules known as *mamelons*.

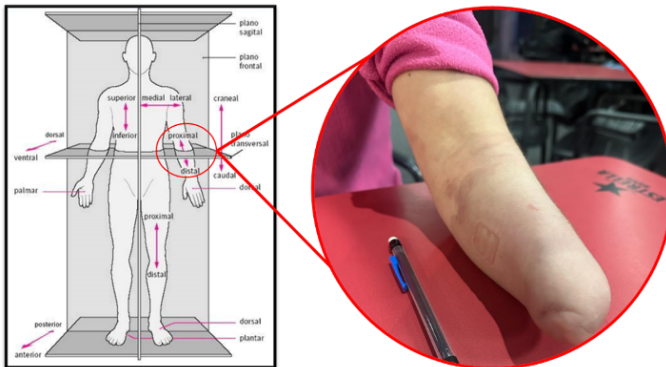


Figure 1. Transverse defect, transradial amputation type.

This congenital anomaly may be the result of genetic, environmental factors, or a combination of both (Dolk, Loane & Garne, 2010). The impact of agenesis on a person's life can vary significantly, but often comes with challenges in terms of function and mobility, as well as imbalances muscles in the body.

Lack of development of the left arm can cause muscle imbalances, as the right side of the body can compensate for the lack of function on the left side. These imbalances can place stress on joints, muscles, and tendons, which can increase the risk of injury and pain over time.

Mari Carmen Galindo, a 34-year-old woman, was born with agenesis of the forearm and left hand. Due to the lack of her left forearm and hand, throughout her life, Mari Carmen has faced challenges in terms of function and mobility. Additionally, she has experienced muscle imbalances in her body, as the right side has had to compensate for the lack of function on the left side.

Despite these difficulties, Mari Carmen has shown incredible resilience and adaptability in her daily life. However, the time has come when Mari Carmen seeks to improve her quality of life by using a customized mechanical left arm prosthesis for CrossFit trainings.

The aim of this work is to provide Mari Carmen with a solution that allows her to perform sports activities with greater ease and efficiency, while reducing tension in her body and helping her achieve better muscular and postural balance.

## **2. Design process**

### ***2.1. Physical acquisition of design parameters***

Prior to the scanning process, measurements were taken for both arms. For this purpose, on the right arm, three radial marks were placed distally. One at 40 mm from the condyle, and the other two at 100 mm along the forearm, as shown in Figure 2a) The total distance

DESIGN AND SIMULATION OF A MECHANICAL FEMALE LEFT ARM LOW-ELBOW PROTHESIS FOR CROSSFIT TRAINING

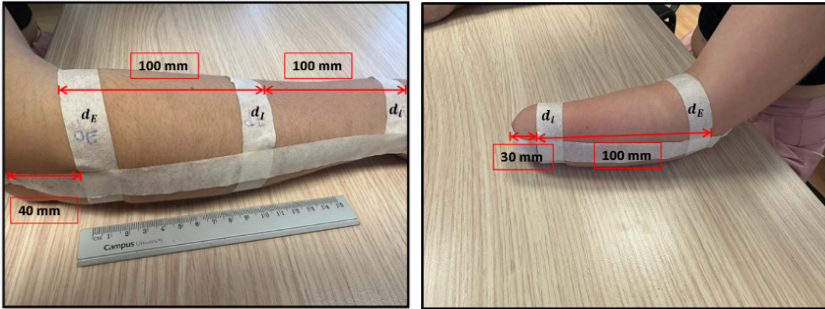


Figure 2. Placement of reference marks on a) the right arm b) the left arm.

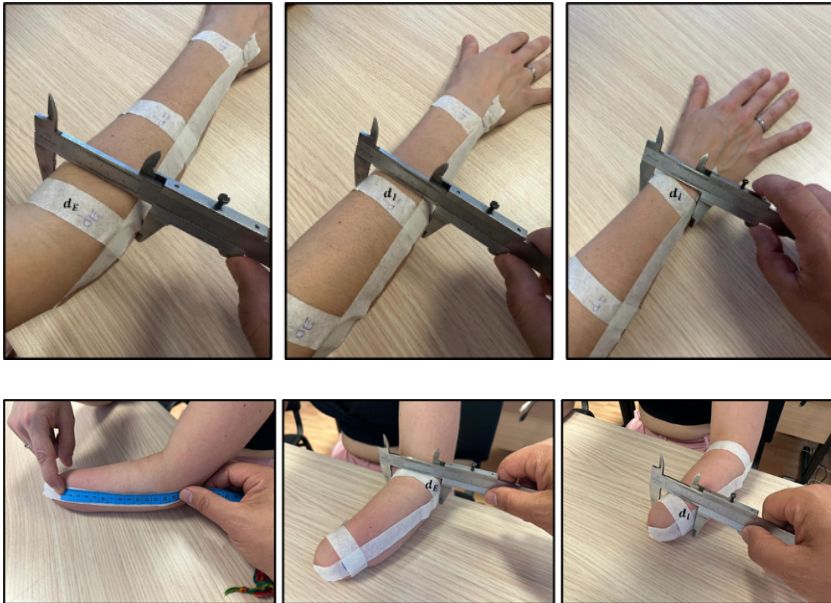


Figure 3. Measurement of reference circles on a) the right arm b) the left arm.

from the condyle to the head of the ulna is 240 mm, which is one of the design parameters. A similar procedure was carried out with the left arm by placing two marks in the distal direction, the first mark at

40 mm from the condyle and the next one at 100 mm, as shown in Figure 2b. The total distance from the condyle to the distal part is 170 mm.

Subsequently, right arm diameters  $d_E$ ,  $d_I$ ,  $d_i$  and left arm diameters  $d_l$ ,  $d_E$  were calculated by measuring their respective circumferences (Figure 3), and the results are recorded as design parameters on Table 1.

		Right arm			Left arm		
		$d_E$	$d_I$	$d_i$	$d_E$		$d_i$
Formulas		Results (mm)					
Perimeter	$P = 2\pi r$	240	208	149	214		140
Radius	$r = \frac{P}{2\pi}$	38,2	33,1	23,7	34,1		22,3
Diameter	$d = 2r$	76	66	47	68		44
		Condyle-wrist length (mm)			Condyle-stump length (mm)		
		240			170		

Table 1. Summary of calculations and measurements of design parameters.

## 2.2. Digital acquisition of design parameters

The acquisition of the morphology of both extremities of the patient was carried out using the Polycam 3D LiDAR scanner.

To facilitate the treatment of the working volume, unnecessary surfaces were removed from the scanner interface, minimizing the exported data volume to the essential minimum, decreasing substantially the processing data (Figure 4).

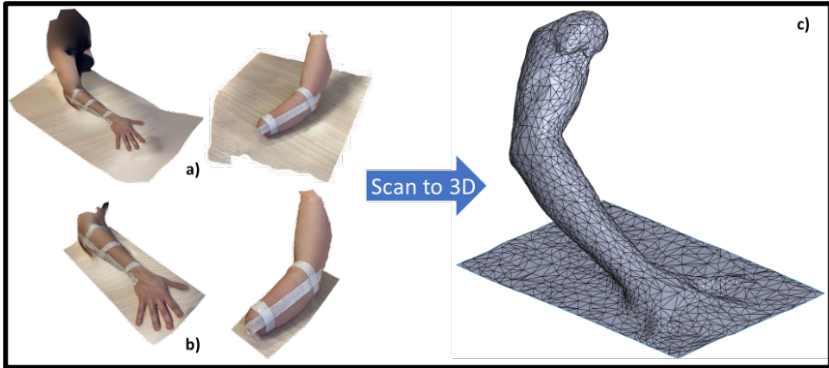


Figure 4. a) Scanning result of both extremities. b) Result of the maximum delimitation of the working volume. c) Imported data into SolidWorks after pre-processing treatment.

Prior to initiating the modeling process for the prosthetic components, it was imperative to calibrate the scale of the digital format to align it with real dimensions. Extracting pertinent information from the compiled dataset, as delineated in Table 1, the Condyle-Wrist Length was ascertained, thereby establishing the distance between  $d_E$  and  $d_i$  at a measure of 200 mm.

The measurement of 0.1998 mm between identified points,  $d_E$ , and  $d_i$ , was assessed utilizing the measurement tool within SolidWorks on the data mesh. This signifies the need for a scaling adjustment of 1000% to harmonize the measurement to a value of 199.8 mm as shown on Figure 5.

### 2.3. Mechanical design

Specification of mechanical stress characteristics for the forearm. Given the unique and innovative nature of this project, there are no precedents or available data in scientific or sports literature regarding the levels and types of stress to which a prosthesis designed for CrossFit exercises might be subjected. For this design stage, the



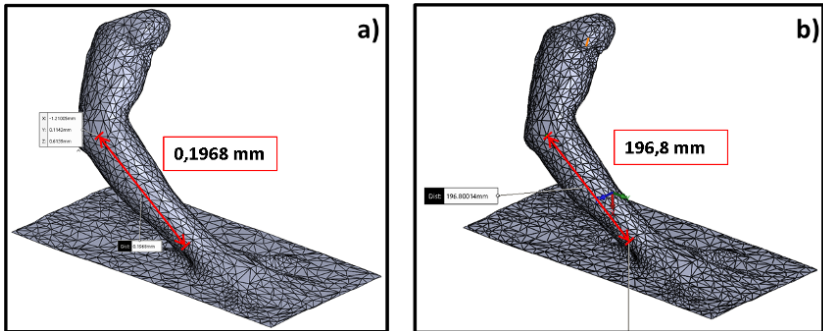


Figure 5. a) Reference distance before scaling adjustment, b) Reference distance after a 1000 % scale adjustment.

geometric parameters obtained from the patient and the following mechanical parameters are utilized. These parameters are a joint estimation by Mari Carmen based on her sports objectives and training frequency.

For the purposes of design and simulation in SolidWorks, the following assumptions and simplifications were made regarding the workload on the prosthesis.

In order to evaluate the response of the prosthesis during pull-up exercises, it is assumed that the component will experience pure tension, considering a maximum patient weight of 90 kg.

$$\text{Traction Force: } \left[ \left( \frac{90 \text{ kg}}{2} \right) * 9.81 \text{ m/s} \right] = 440 \text{ N}$$

Regarding the assessment of the prosthesis performance during devil press, push-ups, military press, and handstand exercises, it is assumed that the component will undergo pure compression, with a maximum weight handling of 35 kg per arm.

$$\text{Compression Force: } \left[ \left( \frac{70 \text{ kg}}{2} \right) * 9.81 \text{ m/s} \right] = 340 \text{ N}$$

For the rest of the exercises, bicep curls, and kettlebell swings, it is considered that the component will experience torsional and flexural stresses.

### 2.3.1. Closure mechanism

One of the primary drawbacks of patient-operated active prosthetics is the substantial energy consumption and concentration it demands. Recognizing the need for agility during CrossFit workouts, it was crucial to implement a straightforward mechanism. To achieve hand closure without electronic actuation, a barrel cam mechanism was chosen. This mechanism transforms radial motion into longitudinal motion (Figure. 6).

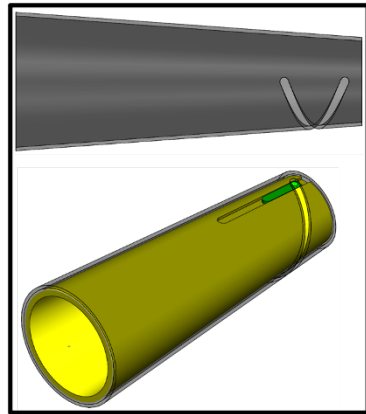


Figure 6. Slotted barrel and assembly coupling.

### 2.3.2. Hand development

One of the factors that significantly impacts the functionality of the prosthesis and, undoubtedly, its cost is the engineering and robotic work behind an electronically actuated hand. The comprehensive design of a hand and its systems can stand alone as a dedicated topic for a bachelor's or master's thesis. For the scope of the master's thesis on which this article is based, the hand design was confined to adjusting the physical characteristics of the patient's right hand: height, width, and thickness of the palm on one hand, and the dimensions of the fingers on the other (Figure 7).

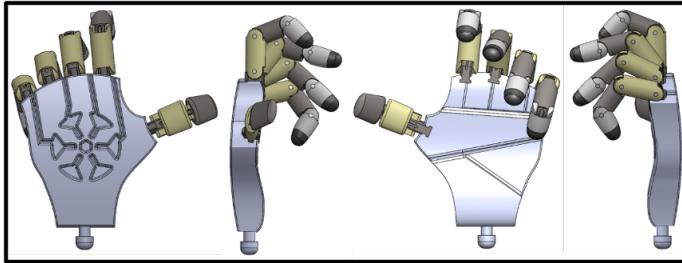


Figure 7. Left hand design.

#### ***2.4. Estimation of the mechanical properties of the laminae from known properties of the fiber and matrix***

The mechanical properties of a laminae of epoxy resin polymer matrix composite material reinforced with long carbon fibers were deduced from the individual characteristics of each constituent component, by means of eLamX free software, according to Chamis Model, also known as Modified Law of Mixtures. The individual elastic properties of the commercial reference XC 130 300g UD Prepreg Carbon Fibre by Easy Composites are summarized on table 2.

Within the eLamX interface, the material XC 130 300g UD is generated, recording the properties outlined in Table 2. The volume percentage of fibers is specified as 60%, and the micromechanical Model of Chamis through which the combined properties are to be estimated is selected. As result, the combined mechanical properties of the composite sheet are shown on table 3 as design parameters.

DESIGN AND SIMULATION OF A MECHANICAL FEMALE LEFT ARM LOW-ELBOW PROTHESIS FOR CROSSFIT TRAINING

Epoxy Matrix Data			T700 carbon fiber reinforcement data		
$\rho_m =$	1,2	$g/cm^3$	$\rho_f =$	1,8	$g/cm^3$
$E_m =$	3500	$MPa$	$E_{  f} =$	379212	$MPa$
$G_m =$	1296,2962	$MPa$	$E_{\perp f} =$	62053	$MPa$
$\nu_m =$	0,35		$G_{  f} =$	74842	$MPa$
$X_{Tm} =$	55	$MPa$	$G_{\perp f} =$	48263	$MPa$
$X_{cm} =$	103	$MPa$	$\nu_{LTf} =$	0,2	
$S_m =$	55	$MPa$	$\nu_{TTf} =$	0,25	
$\nu_f =$	0,6		$X_{Tf} =$	2500	$MPa$
			$X_{cf} =$	1500	$MPa$

Table 2. Summary of matrix and reinforcement properties [Ali & Anjaneyulu, 2018; Ibiza Granados, 2015].

Chamis micromechanical model					
$\rho =$	1,56	$g/cm^3$	$G_{xy} =$	5.432	$g/cm^3$
$E_x =$	228.927	$MPa$	$G_{xz} =$	5.432	$MPa$
$E_y =$	13.007	$MPa$	$G_{yz} =$	5.265	$MPa$
$E_z =$	13.007	$MPa$	$X_t =$	1.500	$MPa$
$\nu_{xy} =$	0,26		$Y_t =$	46	$MPa$
$\nu_{xz} =$	0,26		$X_c =$	900	$MPa$
$\nu_{yz} =$	0,2352		$Y_c =$	86	$MPa$
$SC =$	46	$MPa$	$L_e =$	1.350	$MPa$

Table 3. Summary of the estimation of the elastic and resistant properties of the laminee.

### 2.4.1. Estimation of the “quasi-isotropic” point of the laminate

The "quasi-isotropic" point in a laminate set is identified within the stacking sequence that imparts behavior closest to isotropy in the plane. This implies a collectively similar mechanical response in all directions. From both experience and literature, these conditions are achieved through symmetrical and balanced stacking sequences. The aim is for the laminate layers to have their reinforcements oriented around the entire circumference.

By means of eLamX software, the stacking sequence is designed the carpet-plot feature. The carpet-plot feature represents three elastic constants:  $E_x$ ,  $\nu_{xy}$  and  $G_{xy}$  on the x-axis, selecting the desired property in the options. The order axis represents the percentage of sheets that are planned to have an orientation of  $\pm 45^\circ$ .

To determine the “quasi-isotropy” point, the laminate structure must have the same number of plies/sheets oriented at angles according to the following relationship:

$$\frac{180^\circ}{N + \theta^\circ} \quad (1)$$

where  $N > 3$  and  $\theta^\circ$  the initial orientation.

For  $N = 4$  and  $\theta^\circ = 0^\circ$ , the relation (1) is equal to  $45^\circ$ , therefore, to reach the “quasi-isotropic” point, the orientations of the layers must be:

$$0^\circ, 45^\circ, 90^\circ \text{ and } 135^\circ (-45^\circ)$$

The configuration of the sequence must ensure that the laminate has the same number of layers with all the mentioned angles. Generally, for stacking sequence:

$$[0/45/-45/90/90/-45/45/0]_s$$

For this laminate family, the “quasi-isotropic” point is located at the point corresponding to the following distribution of layers:

- 25 %  $\rightarrow 0^\circ$                       4 layers
- 50 %  $\rightarrow 45^\circ$  and  $135^\circ$         8 layers
- 25 %  $\rightarrow 0^\circ$                       4 layers

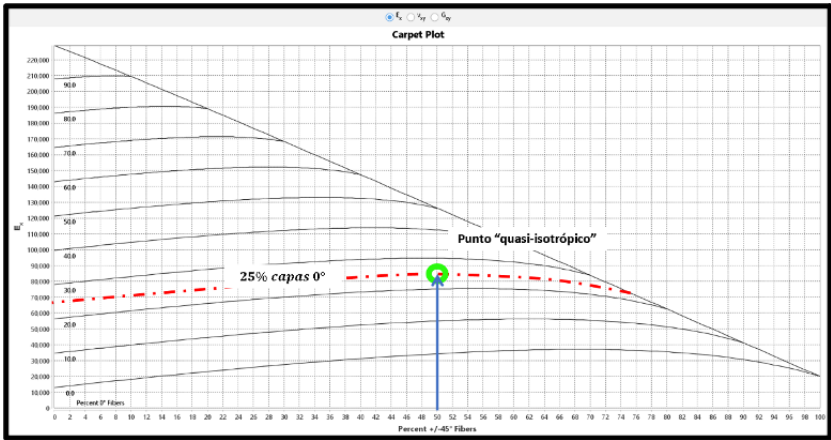


Figure 8. Localization of the "quasi-isotropic" point on the "carpet plot" diagram related to the longitudinal modulus  $E_x$  within the laminate family of the specified type  $[0_m/\pm 45_n/90_p]_s$

With this information we can use the “carpet-plot” shown in figure 8 to find the mentioned point. Under these conditions: symmetric stacking, a homogeneous distribution of orientations around the circumference, and specified layer percentages at certain orientations, it can be affirmed that the laminate will exhibit "quasi-isotropic" properties.

According to (Rivas Hernández, 2023), the variability in the estimation of mechanical properties of a composite laminate between the graphic

method (carpet-plot) and the classical lamination theory (CLT) is minimal and the results obtained by this graphic methodology are acceptably valid. To graphically determine the properties of the laminate through the "carpet plot" diagram, in the case of the longitudinal modulus  $E_x$ , a horizontal line (green line) is drawn from the "quasi-isotropic" point until it intersects the ordinate axis, as illustrated in Figure 9.

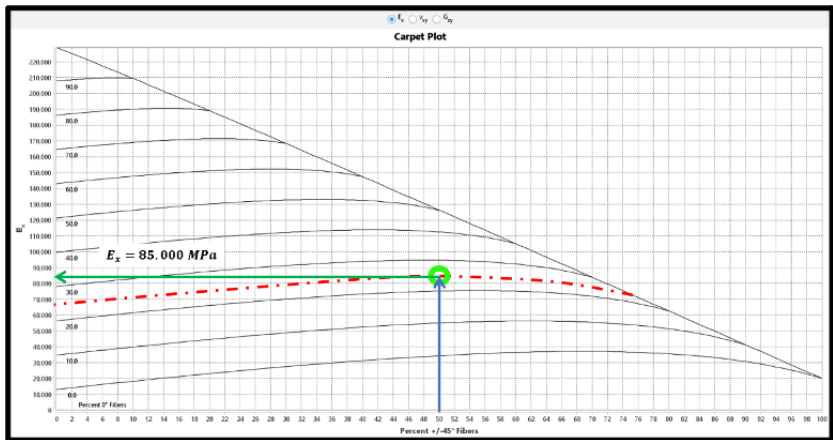


Figure 9. Longitudinal modulus estimation  $E_x$  through the "carpet plot".

The same procedure is followed to estimate the shear modulus  $G_{xy}$  and the Poisson's ratio  $\nu_{xy}$  as depicted in Figure 10 and Figure 11.

Given that the intention was to achieve a material with "quasi-isotropic" properties, the longitudinal modulus is equivalent to the transverse modulus, meaning  $E_x = E_y$ , and consequently, the Poisson's ratios are also equal  $\nu_{xy} = \nu_{yx}$ . In this way, the mechanical properties of a laminated composite material XC 130 300g were estimated graphically. Table 4 displays the obtained results and the comparison with those obtained through Classical Laminate Theory (CLT).

Carpet plot			CLT		
$E_x =$	85.000	MPa	$E_x =$	85.010,10	MPa
$G_{xy} =$	32.000	MPa	$G_{xy} =$	32.225,60	MPa
$\nu_{xy} =$	0,32	MPa	$\nu_{xy} =$	0,319	MPa

Table 4. Comparison of the laminate property estimations between “carpet plot” and CLT (Rivas Hernández, 2023).

### 3. Validation process

#### 3.1. Static simulation under working assumptions

SolidWorks is a highly robust digital tool for mechanical design and product validation. However, when it comes to simulating composite materials, it is quite limited in the student version. SolidWorks does not include composite materials in its material library. Therefore, to perform simulations of components designed with composites, the material must be custom created. The data in Table 3 displays the properties estimated in section 2.4 through the Chamis micromechanical model. With this information, the material "XC130 300g UD Prepreg Carbon fibre" is created in the SolidWorks material library.

To simplify the configurations of different load modes to be simulated, the simulations were conducted on the closure mechanism, as it is the primary component of the prosthesis. For this project, we stacked 8 layers symmetrically (16 layers total), all folds have the same material, layer thickness of 0.3 mm, and a reference angle of 0° degrees.



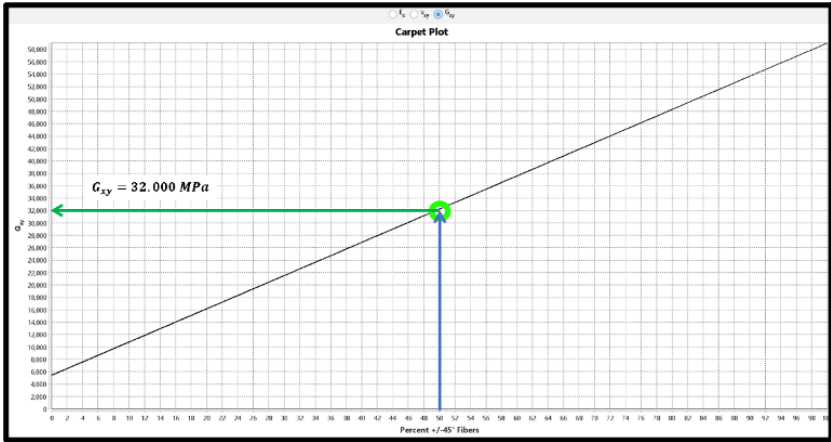


Figure 10. Estimation of shear modulus  $G_{xy}$  through the “carpet plot”.

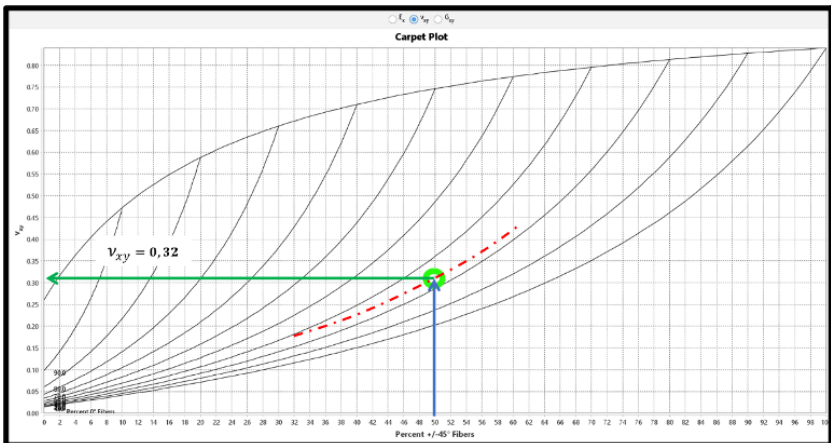


Figure 11. Estimation of Poisson's ratio  $\nu_{xy}$  through the “carpet plot”.

### Static tension analysis

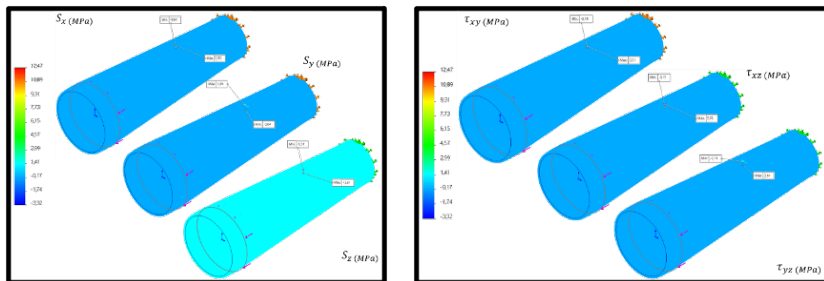


Figure 12. a) Plot of Maximum Tension Stresses ,  $S_x = 2.92 \text{ MPa}$ ,  $S_y = 1.06 \text{ MPa}$  and  $S_z = 13.81 \text{ MPa}$  across all layers. b) Plot of Maximum Shear Stresses  $\tau_{xy} = 3.01 \text{ MPa}$ ,  $\tau_{xz} = 5.95 \text{ MPa}$  and  $\tau_{yz} = 2.14 \text{ MPa}$  across all layers.

This test simulated the behavior of the component during a “pull-up”. The plotting of the maximum normal stresses and the maximum shear stresses produced by a tensile force of 440 N are depicted in Figure 12.

Rankine criterion						
$S_x =$	2,92	MPa	<	$Y_t =$	46	MPa
$S_y =$	1,06	MPa		$X_t =$	1.500	MPa
$S_z =$	13,81	MPa	<	SC=	46	MPa
$\tau_{xy} =$	0,26	MPa				MPa
$\tau_{xz} =$	0,26	MPa				MPa
$\tau_{yz} =$	0,2352	MPa				MPa

Table 5. Evaluation of the maximum normal stress failure criterion (Rankine criterion) in tension.

Based on the comparison of the tensile simulation results (left side of the table) with the strength properties of our material (right side), it can

be assured that the component will not fail due to the working stress level (Castro Sánchez, 2018). On the other hand, obtaining the safety factor distribution yields an  $FS=25.56$  for the worst case across all layers.

Therefore, it can be established that the component will not fail under these loading conditions.

### Static compression analysis

This test simulated the behavior of the component during a handstand or a push-up. The plot of maximum normal stresses and the maximum shear stresses produced by a compression force of  $340\text{ N}$  is shown in Figure 13.

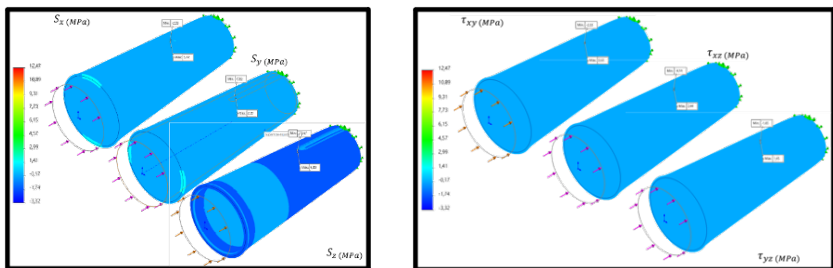


Figure 13. a) Plot of Maximum Tension Stresses  $S_x = 5.13\text{ MPa}$ ,  $S_y = 2.35\text{ MPa}$  and  $S_z = 4.83\text{ MPa}$  across all layers. b) Plot of Maximum Shear Stresses  $\tau_{xy} = 2.33\text{ MPa}$ ,  $\tau_{xz} = 4.59\text{ MPa}$  and  $\tau_{yz} = 1.65\text{ MPa}$  across all layers.

Similarly, based on the comparison of the compression simulation results (left side of the table) with the strength properties of our material (right side), it can be assured that the component will not fail due to the working stress level. On the other hand, obtaining the safety factor distribution yields an  $FS=36.17$  for the worst case across all layers. Therefore, it can be established that the component will not fail under these loading conditions (Castro Sánchez, 2018).

Criterio de fallo de tensión normal máxima						
$S_x =$	5,13	<i>MPa</i>	<	$Y_c =$	86	<i>MPa</i>
$S_y =$	2,35	<i>MPa</i>				
$S_z =$	4,88	<i>MPa</i>	<	$X_c =$	900	<i>MPa</i>
$\tau_{xy} =$	2,33	<i>MPa</i>	<	$SC =$	46	<i>MPa</i>
$\tau_{xz} =$	4,59	<i>MPa</i>				<i>MPa</i>
$\tau_{yz} =$	1,65	<i>MPa</i>				<i>MPa</i>

Table 6. Evaluation of the maximum normal stress failure criterion (Rankine criterion) in compression.

#### 4. Conclusions

The design conception and development of such a prosthetic device require a collaborative and coordinated effort across different stakeholders. The active involvement of the patient, medical professionals, and orthopedists is crucial for accurately translating needs and capabilities into engineering design.

The mechanism proposed is simple and familiar. However, through its design concept, it offers the patient the ability to not only train but also engage in the same activities as her cosmetic and myoelectric prostheses. The practicality of achieving hand activation with a half-turn is highlighted, contributing to the versatility and usability of the prosthetic device. More work is necessary prior to manufacture it.

eLamX emerges as a valuable open-source software, greatly facilitating the micromechanical analysis and estimation of elastic and strength properties for composite material layers and laminates. Its use is emphasized as a powerful tool for streamlining calculations and accelerating product development processes.

While SolidWorks is a common and versatile tool for product design and conception, it faces challenges when it comes to modeling textiles or non-rigid components. The limitations in modeling such components are highlighted, suggesting potential difficulties and slowdowns in the product development process when dealing with these types of materials.

SolidWorks is not considered a technically suitable solution for modeling composite materials. It is noted that SolidWorks only allows for the modeling of unidirectional materials and cannot accommodate biaxial material sheets. This limitation is critical when working with composite materials that have more complex orientations or structures.

Significant simplifications were made in this project to study the behavior of the component. However, it is noted that the scope and simulation capabilities for composite materials in SolidWorks are highly limited. Challenges, such as dealing with shell elements, meshing issues, and identifying stress areas or singularities, are highlighted as complicating factors in the simulation process.

## References

- Ali, M. I., & Anjaneyulu, J. (2018). Effect of fiber-matrix volume fraction and fiber orientation on the design of composite suspension system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 455(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/455/1/012104>
- Castro Sánchez, A. (2018). *Modelización micromecánica de materiales compuestos: comparativa entre modelos analíticos y numéricos (MEF)*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Sevilla.
- Dohin, J., Coiffier-Leone, C., Payre, P., Bayle, B., Dohin, B., & Gautheron, V. (2016). Evaluation of a multidisciplinary consultation for children's upper limb amputation. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 59, e14. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.07.033>
- Dolk, H., Loane, M., & Garne, E. (2010). The prevalence of congenital anomalies in Europe. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 686, 349–364. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9485-8\\_20](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9485-8_20)

- Ibiza Granados, C. (2015). *Análisis lineal de la estabilidad de láminas de material compuesto mediante el M.E.F.* Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Sevilla.
- Rivas Hernández, E. I. (2023). *Diseño de una prótesis mecánica de brazo izquierdo (low-elbow) femenino para entrenamientos de Crossfit.* Trabajo de Fin de Máster dirigido por Oscar Farrerons. Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2117/395771>

---

# Recuperació i revalorització de la cel·lulosa procedent dels residus tèxtils post-consum

---

**Ernest Ubasart Clarà, Elisabet Quintana Vilajuana, M. Blanca Roncero Vivero**

CELBIO TECH\_Paper Engineering Research Group. ESEIAAT  
Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny

## Resum

Aquesta investigació es centra en la valorització dels residus tèxtils post-consum. L'objectiu és recuperar la cel·lulosa que contenen els residus tèxtils i utilitzar aquest recurs com a matèria primera per produir films transparents i biodegradables per aplicar-los en el sector de l'emalatge. Els líquids iònics (LI) són els solvents utilitzats per dissoldre les fibres de cel·lulosa, ja que aquests són selectius cap aquest polímer natural, però en canvi no poden dissoldre les fibres sintètiques. A més a més, els LI ofereixen un gran avantatge des d'un punt de vista mediambiental ja que és possible recuperar-los eficientment, reciclar-los i reutilitzar-los diverses vegades sense que perdin les seves propietats. En aquest treball s'introdueix el concepte d'economia circular ja que un residu es transforma en un nou producte amb un alt potencial, i a la vegada es contribueix amb el desenvolupament de materials sostenibles per a envasos.

## Abstract

The present investigation focuses on the valorization of post-consume textile waste. The purpose is the recovery of cellulose that remain in the discarded textile wastes, and use the recovered fibers as a source to produce transparent and biodegradable films intended for food packaging applications. Ionic liquids (IL) are used as green solvents to dissolve cellulose fibers, because are selective to cellulose polymer but are not able to dissolve synthetic fibers. Moreover, IL offers a great advantage from an environmental point of view, because can be efficiently recovered, recycled and reused several times without compromising their intrinsic properties. A circular approach is introduced in this work because a textile waste is transformed to a new

product with high potential, but also contributes to the development of eco-friendly materials for packaging.

---

## 1. Introducció

El model de negoci de la indústria tèxtil i de la moda, es basa en un patró de consum marcat pel fenomen *fast fashion*, que impulsa a la societat a renovar cada temporada les seves peces de vestir. Això ha provocat un increment de la producció de roba i calçat, i conseqüentment la generació de més residus tèxtils. Segons l'Agència Europea del Mediambient (2019), el consum de roba per persona a la UE va augmentar un 40 % entre els anys 1996 i 2012, degut principalment a una davallada dels preus i un escurçament de la vida útil de la roba. S'espera que a nivell mundial la demanda de fibres tèxtils segueixi augmentant, passant de 72.5 milions de tones el 2010 a 133-156 milions de tones el 2030, el que comportarà un consum anual per càpita de 15.5-17 kg de roba (Hämmerle, 2011). Aquestes dades són alarmants, si es té en compte que un 73 % dels residus tèxtils acaben en dipòsits controlats o bé són incinerats, la qual cosa comporta una gran pèrdua de recursos i de valor econòmic (Ellen Macarthur Foundation, 2017); i que menys de la meitat de la roba utilitzada es recull selectivament per tornar-la a utilitzar o reciclar (European Environment Agency, 2022). Aquest últim punt s'explica perquè en molts casos, els residus tèxtils són una barreja de fibres naturals i sintètiques (sobretot mesclades de cotó/polièster), fet que comporta que el fraccionament i/o la separació sigui força complex. A més a més, la manca de traçabilitat i tecnologies automàtiques que permetin la classificació dels residus recollits, la necessitat d'aplicar pretractaments per decolorar les fibres, i la dificultat per eliminar els additius que s'apliquen a les fibres per tal d'aconseguir noves propietats, són alguns dels reptes que compliquen el procés de reciclatge dels tèxtils post-consum.



A Catalunya el 2020, la generació de residus tèxtils va ser de 165.933 t, recollint-se selectivament només 19.399 t, un 11.7 % (ARC 2022). Aquests residus tèxtils post-consum que procedeixen de la recollida selectiva que realitza un gestor autoritzat, poden seguir diferents vies ja sigui la reutilització (60 %), la valorització del material entès com a reciclatge (30 %) o bé l'eliminació directa (10 %) per la via de la valorització energètica o disposició final en un abocador controlat. Amb el propòsit d'aplicar un model d'economia circular i reduir la disposició de residus, la directiva europea de residus UE 2018/851 obligarà als estats membres, i en última instància a les administracions municipals, a implementar la recollida selectiva de residus tèxtils a partir del 2025. Amb la legislació corresponent en marxa, s'espera que les dades de recollida millorin i per tant augmentin les possibilitats de poder reciclar i/o reutilitzar aquests residus tèxtils.

Les fibres tèxtils poden ser naturals o artificials. Les fibres naturals es classifiquen en vegetals, animals o minerals segons el seu origen. Segons l'informe *Mapping the clothing impacts in Europe: the environment cost by European Clothing Action Plan* (Gray, 2017), el cotó representa el 90 % de totes les fibres naturals i més del 43 % de totes les fibres de roba utilitzades a la UE. Actualment les fibres sintètiques artificials (el seu origen prové dels combustibles fòssils) dominen el mercat tèxtil, amb una producció de 70 milions de tones el 2019, gairebé el 63 % de la producció mundial de fibra (Exchange, 2020; Mendes, Prates & Evtuguin, 2021). Les fibres sintètiques més comunes inclouen el polièster o el tereftalat de polietilè (PET) amb un 16 % de totes les fibres utilitzades, la poliamida (anomenada també niló); acrílic i modacrílic; polipropilè; polietilè; elastans (conegut com spandex als EUA) i fibres especials d'alta tenacitat com ara les aramides d'alt rendiment i el polietilè de pes molecular ultra alt (UHMWPE) (Gray, 2017).

Tenint en compte el nou marc legislatiu que es preveu implementar properament i amb la visió d'introduir el concepte d'economia circular, aquesta investigació proposa estudiar l'ús de líquids iònics com a

tecnologia per recuperar la cel·lulosa present en els residus tèxtils, i a continuació utilitzar aquesta font de matèria per produir films transparents i biodegradables pel sector de l'embalatge.

## 2. Metodologia

### 2.1. Recuperació de la cel·lulosa provinent de residus 100 % Cotó i residus 50 % Cotó-50 % Polièster

Els líquids iònics (LIs) com el 1-Ethyl-3-methylimidazolium acetate (Emim<sup>+</sup>OAc<sup>-</sup>) s'utilitzen com a dissolvents sostenibles alternatius als dissolvents convencionals. Estan formats per ions asimètrics i voluminosos i presenten forces atractives més febles que altres sals iòniques per això permeten dissoldre la cel·lulosa eficientment mitjançant repulsions electrostàtiques (Amini, Valls & Roncero, 2021), però en canvi no són capaços de dissoldre les fibres sintètiques derivades del petroli, com per exemple el polièster.

El procés per obtenir films a partir de retalls de residus tèxtils (Figura 1) comença triturant el teixit per millorar la impregnació del teixit amb el LI. Seguidament, s'afegeix una quantitat concreta de líquid iònic i es porta a elevada temperatura (90 °C) durant 4 hores, amb agitació de vaivé a 4000 revolucions per minut (rpm) preferiblement i sinó a l'estufa sense agitació. Tot seguit s'aboca la mescla viscosa a una placa petri i es deixa refredar a temperatura ambient. A continuació, sota la presència d'H<sub>2</sub>O es procedeix a la precipitació de la cel·lulosa i formació de l'estructura del film. Es fan diversos rentats amb H<sub>2</sub>O per alliberar el LI de la superfície del film. Aquest LI es recuperarà i es

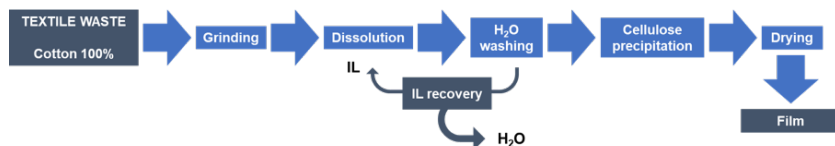


Figura 1. Procés d'obtenció de films transparents a partir de residus tèxtils 100 % cotó.

tornarà a reutilitzar. Finalment, els films s'assequen aplicant buit i temperatura (60 °C) durant 1 hora.

Pel què fa als residus tèxtils compostos de cotó:polièster 50:50 el procés és similar (Figura 2). El principal canvi és el temps de dissolució que en aquest cas és de 48 hores, ja que la presència d'altres materials fa que s'alenteixi la dissolució de la cel·lulosa. També s'afegeix un pas de filtració després de dissoldre la cel·lulosa per separar la part no dissolta. La filtració es duu a terme a alta temperatura per mantenir la textura líquida de la cel·lulosa dissolta mentre que la fracció no dissolta que conté polièster es queda al filtre.

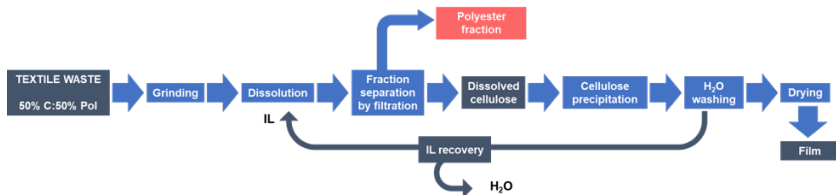


Figura 2. Procés d'obtenció de films transparents a partir de residus tèxtils 50:50 cotó:polièster.

A la Taula 1 es descriuen les condicions de treball que s'han seguit per dissoldre la cel·lulosa continguda en els residus tèxtils post-consum.

Tipus mostra	Cel·lulosa % w/v	Temps dissolució, h	Ta. dissolució, °C	Temps assecat, h	Ta. assecat, °C
100% cotó	2	4	90	1	60
50:50 cotó:polièster	1.3	24	90	1	60

Taula 1. Condicions de treball pel procés de dissolució i d'obtenció de films.

Els líquids iònics són reactius cars però l'avantatge que tenen és que es poden reutilitzar moltes vegades amb la mateixa eficiència i sense modificar les propietats dels films obtinguts. El procés de recuperació del líquid iònic consisteix en separar l'aigua del líquid iònic provinents dels rentats del film mitjançant evaporació a pressió reduïda fins a un volum constant.

### 3. Resultats

#### **3.1. Recuperació de la cel·lulosa provinent de residus 100 % Cotó i residus 50 % Cotó-50 % Polièster**

D'acord amb el què es descriu a la literatura en que el LI no és capaç de dissoldre les fibres sintètiques, es va portar a terme la reacció de LI amb fibres 100 % polièster sota les mateixes condicions de temperatura i agitació que amb les fibres 100 % cotó. Després de més 24h de reacció no es va observar presència de fibres dissoltes, i el teixit presentava la seva forma original, quedant confirmat que el tipus de LI utilitzat no actua sobre les fibres sintètiques.

Amb l'objectiu de verificar que els passos establerts per produir els films són els correctes (número de rentats amb aigua destil·lada i malla per separar la fracció dissolta de la fracció de fibra sintètica) es va comprovar per FTIR l'absència de fibres sintètiques en els films i l'absència de LI en aquests.

La fibra sintètica (polièster) i la fibra de cotó tenen diferents grups funcionals que es poden identificar i distingir clarament per FT-IR (Figura 3a). La fibra sintètica té un pic característic a  $1714\text{ cm}^{-1}$  i un altre a  $1241\text{ cm}^{-1}$  que el polímer de cel·lulosa no presenta. Tal com es mostra a la Figura 3b, els films provinents de teixit 50:50 cotó:polièster no presentaven cap pic corresponent a les fibres sintètiques, confirmant que la separació de les dues fraccions, la dissolta i la no dissolta, per un procés de filtració per gravetat mitjançant un filtre de malla funciona adequadament.

Pel què fa a la presència residual de LI en els films, es van realitzar diferents números de rentats en els films i a continuació es va analitzar la presència o no de LI en la superfície d'aquests. Després de 10 rentats, no es va observar cap pic característic del LI, establint aquest número de rentats com el número adequat per assegurar l'eliminació de LI de la superfície dels films.

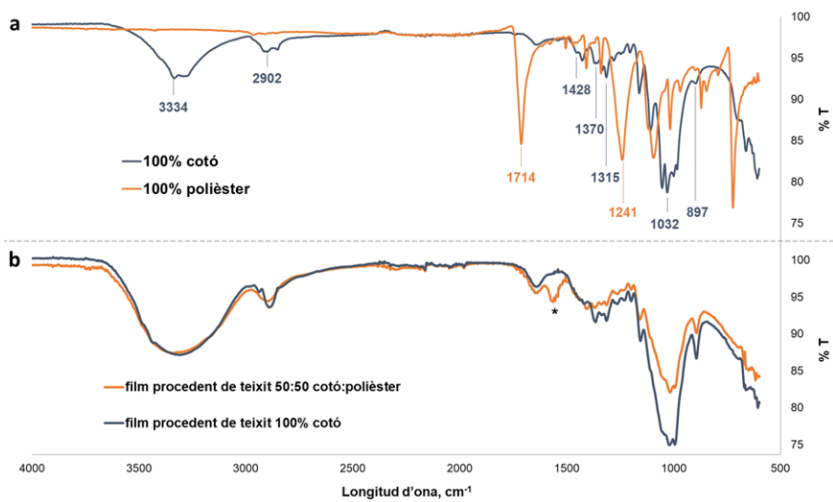


Figura 3. (a) Espectre FT-IR del teixit 100 % cotó (en gris) i del teixit 100 % polièster (en taronja). Bandes del cotó: 3334 (O-H), 2902 (C-H), 1428 ( $\text{CH}_2$ ), 1370 ( $\text{CHv}$ ), 1315 ( $\text{COv}$ ), 1032 (CO, OH *st*), 897 (enllaços  $\beta$ -glicosídics). Bandes del polièster: 1714 (C=O), 1241 (C-O-C). b) Espectres FT-IR d'un film provinent de teixit 100 % cotó (en gris) i d'un film provinent de teixit 50:50 cotó: polièster (en taronja). \*Banda de LI residual.

Una vegada obtinguts els diferents films és interessant estudiar-ne les propietats físiques, propietats barrera i propietats mecàniques. Les principals propietats físiques estudiades han estat el gramatge ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), l'espessor ( $\mu\text{m}$ ) i la densitat ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). Tal i com es representa a la Taula 2, en obtenir els films provinents dels teixits 100 % cotó s'ha pogut verificar que > 90 % del cotó inicial forma part del film final. En

canvi, pels films provinents de cotó mesclat amb polièster s'han obtingut recuperacions de cotó d'aproximadament el 50%, respecte la fracció cotó. Això pot ser degut a que les fibres de cotó i polièster no es separen prou bé i una part de cotó es queda retintut a la part de filtratge. A la Taula 2 s'hi representa la comparació de propietats físiques dels films produïts a partir de les dues composicions de teixits utilitzats. Les dades dels films provinents dels teixits 100% cotó són la mitjana de 23 mostres (8 films grans i 15 films petits), mentre que les dades dels films provinents de teixits 50:50 cotó: polièster són la mitjana de 8 mostres (6 films petits i 2 films grans).

Tipus mostra	% cel·lulosa recuperada	Espessor ( $\mu\text{m}$ )	Àrea ( $\text{cm}^2$ )	Gramatge ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Densitat ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
100C	>90	36 $\pm$ 17	60	39 $\pm$ 18	1,3 $\pm$ 0,4
50C:50P	49	42 $\pm$ 18	50	42 $\pm$ 14	1,1 $\pm$ 0,2

Taula 2. Propietats físiques dels diferents films. Films provinents de teixits 100 % cotó (100C), films provinents de teixits 50:50 cotó:polièster (50C:50P).

La fabricació de tots aquests films han seguit les condicions de la Taula 1 i en tots els casos amb agitació a 4000 rpm. El gramatge ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) representa el pes de material, en aquest cas cel·lulosa, per unitat de superfície. Es va fer un estudi per analitzar l'efecte de l'àrea del film en les propietats físiques, per això a la Taula 3 es diferencia entre els films produïts en plaques de petri grans ( $A= 90 \text{ cm}^2$ ) dels films fets en plaques de petri petites ( $A= 40 \text{ cm}^2$ ). Si ens fixem amb els gramatges ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) obtinguts pels diferents films observem que aquests varien força (de 26 a 54) degut a la diferència de percentatge de cel·lulosa recuperada en cada film i també degut a la baixa uniformitat d'àrees. En aquest sentit, s'està treballant en optimitzar el procés de fabricació per obtenir uns resultats amb menys desviació estàndard. Tot i així, la mitjana de gramatge de tots els films estudiats és de 44 $\pm$ 17  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Respecte a les densitats ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) d'aquests films s'ha observat que són similars tan pels films provinents de teixits de

cotó com pels films provinents de mescla. Com que l'espessor ( $\mu\text{m}$ ) dels films és similar en tots els casos  $37\pm 17 \mu\text{m}$ , també ho és la densitat ( $1,2\pm 0,4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

Pel què fa el rendiment de recuperació de cel·lulosa, les mostres que són mescles de fibra sintètica i cotó tenen rendiments més baixos ( $\sim 50 \%$ ) en comparació a les mostres  $100 \%$  cotó. Caldria estudiar si és possible millorar-ne l'eficiència ja sigui canviant les condicions de reacció o bé durant el procés de filtració, ja que s'ha vist que la fracció de fibra sintètica segueix contenint fibres de cel·lulosa que queden atrapades.

Tipus mostra	Cel·lulosa inicial (g)	Pes film (g)	% cel. recuperada	
100C G	0.251	0.247	>90	
100C P	0.222	0.216	>90	
50:50 G	0.500	0.310	62	
50:50 P	0.429	0.183	44	
Tipus mostra	Espessor ( $\mu\text{m}$ )	Àrea ( $\text{cm}^2$ )	Gramatge ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Densitat ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
100C G	$26\pm 6$	100	$26\pm 5$	$1,0\pm 0,2$
100C P	$41\pm 19$	40	$54\pm 14$	$1,4\pm 0,4$
50:50 G	$37\pm 1$	80	$39\pm 9$	$1,1\pm 0,2$
50:50 P	$44\pm 20$	40	$45\pm 15$	$1,1\pm 0,2$

Taula 3. Comparació de propietats físiques dels diferents films produïts segons la seva àrea. Films fets en placa de petri gran (G), films fets en placa de petri petita (P).

Per verificar que el procés de recuperació del LI després del rentat dels films és vàlid, s'ha utilitzat la tècnica de l'espectroscòpia FT-IR. S'ha observat que l'estructura del LI es manté inalterada (Figura 4) a

mesura que es fan els films i que aquest pot ser recuperat varies vegades (>10). En el protocol de recuperació del LI s'ha establert que abans de tornar fer ús del LI, es deixarà a l'estufa durant mínim 2h per eliminar la poca aigua residual que pugui contenir.

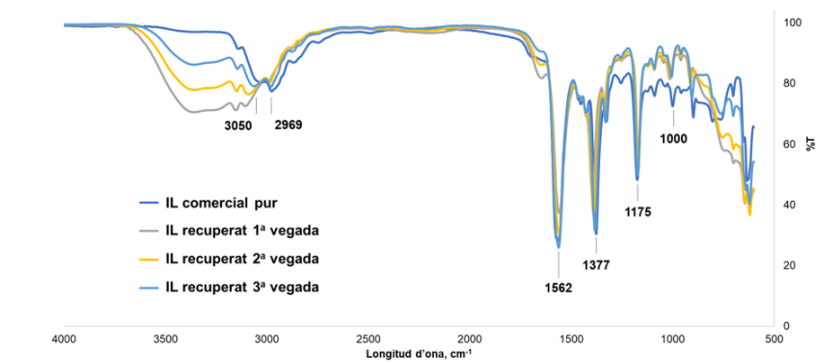


Figura 4. FT-IR del LI pur i recuperat varies vegades. Les bandes característiques del LI són 3050 (unsaturated C=C stretching vibration), 2969 (saturated C-H stretching vibration), 1562 (C-N stretching), 1377 (C-H bending), 1175 (C=O stretching) i 1000 (C-O stretching).

#### 4. Conclusions

En aquest estudi s'ha aconseguit produir films transparents i biodegradables a partir de residus tèxtils de color blanc mitjançant la tècnica casting. S'han determinat les condicions òptimes pel procés de síntesi les quals són 2 % w/v de fibra pels teixits 100 % cotó i 1.3 % w/v de fibra pels teixits 50:50 cotó:polièster. S'ha pogut observar que la dissolució del cotó quan està mesclat amb materials derivats del petroli és més lenta, però la utilització de filtres de malla permet separar eficientment la fracció de fibra sintètica que no s'ha dissolt, de la fracció de fibres de cel·lulosa que està completament dissolta. L'anàlisi per FTIR ha confirmat que els films obtinguts no tenen presència de fibres sintètiques.



En general s'han observat algunes diferències respecte l'espessor ( $37\pm 17\ \mu\text{m}$ ), gramatge ( $44\pm 17\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) i densitat ( $1,24\pm 0,37\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) quan s'utilitzen les mateixes condicions de procés, i que es consideren que són degudes a que cal optimitzar el procés de formació del film.

Pel que fa a la recuperació i reutilització del líquid iònic s'ha aconseguit portar a terme més de 5 vegades, mantenint la capacitat de dissolució i obtenint films amb una bona formació. Es tracta d'un procés senzill que ens permet un procés més sostenible i un estalvi econòmic important.

### Agraïments

Aquest estudi forma part del projecte V-00411 finançat per l'Ajuntament de Barcelona i del projecte PID2020-114070RB-I00 (CELLECOPROD) finançat per MCIN/AEI/10.13039/501100011033. Elisabet Quintana és Professora Serra Hünter.

### Referències

- Amini, E., Valls, C., & Roncero, M. B. (2021). Ionic liquid-assisted bioconversion of lignocellulosic biomass for the development of value-added products. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129275. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129275>
- Ellen Macarthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/a-new-textiles-economy-redesigning-fashions-future>.
- European Environment Agency. (2019). *Textiles in Europe's circular economy. Briefing no. 10/2019*. <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-in-europes-circular-economy>. <https://doi.org/10.2800/904911>
- European Environment Agency. (2022). *Textiles and the environment: the role of design in Europe's circular economy. Briefing no. 01/2022*. <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-and-the-environment-the> (Issue February). <https://doi.org/10.2800/006659>

- Exchange, T. (2020). *Preferred Fiber & Materials Market Report 2020*. 103. [https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange\\_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report\\_2020.pdf%0Ahttps://textileexchange.org/2020-preferred-fiber-and-materials-market-report-pfmr-released/](https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf%0Ahttps://textileexchange.org/2020-preferred-fiber-and-materials-market-report-pfmr-released/)
- Gray, S. (2017). *Mapping clothing impacts in Europe: the environmental cost*. WRAP. European Clothing Action Plan.
- Hämmerle, F. M. (2011). The Cellulose Gap (The Future of Cellulose Fibres). *Lenzinger Berichte*, 89, 12-21.
- Mendes, I. S. F., Prates, A., & Evtuguin, D. V. (2021). Production of rayon fibres from cellulosic pulps: State of the art and current developments. *Carbohydrate Polymers*, 273, 118466. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118466>



Aquest llibre recull part de la recerca que porta a terme el Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny (DEGD) de la Universitat Politècnica de Catalunya. Com podreu llegir, és una recerca molt variada i pluridisciplinària adaptada als temps actuals, on apareixen diverses de les principals preocupacions de la comunitat científica internacional, i referenciada en algunes de les línies d'investigació de Catalunya. En el llibre trobareu tan sols una petita mostra de la temàtica dels articles publicats pels professors del DEGD en les principals revistes científiques internacionals, però també en congressos, capítols de llibre, catàlegs d'exposició, projectes competitius industrials, projectes no competitius, projectes d'innovació docent i altres projectes de propietat intel·lectual industrial.

El DEGD, a més de la recerca, té assignada docència a l'Escola Superior d'Enginyeries Industrial Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa, a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa i a l'Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels. Imparteix docència en gairebé totes les titulacions que assignades en aquestes escoles, tant en graus com en màsters universitaris. A més, els professors del departament col·laboren en diversos programes de doctorat. En tot cas, la docència és una branca més des de la que s'accedeix a la recerca.

